REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTERE DE L'INDUSTRIE, DE L'ENERGIE ET DES P.M.E.
Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Energie

REGLEMENTATION THERMIQUE ET ENERGETIQUE
DES BATIMENTS NEUFS EN TUNISIE

Label à Haute Performance Energétique des Bâtiments du Secteur Tertiaire

MANUEL DES BATIMENTS A USAGE DE BUREAUX

Version Août 2007

ANME
3, Rue 8000, Monplaisir - 1073 Tunis (BP 213)
Tél. : (216)71 787 700 - Fax : (216) 71 784 624
E-mail : boc@anme.nat.tn
Sites web : www.anme.nat.tn / www.enerbat.nat.tn

ANME
GEF FONDS POUR L'ENVIRONNEMENT MONDIAL
FFEM Fonds Français Environnement Mondial

REGLEMENTATION THERMIQUE ET ENERGETIQUE
DES BATIMENTS NEUFS EN TUNISIE

Label à Haute Performance Energétique des Bâtiments du Secteur Tertiaire

MANUEL DES BATIMENTS A USAGE DE BUREAUX

Version Août 2007

ANME

Fonds Français pour l'Environnement Mondial

FONDS POUR L'ENVIRONNEMENT MONDIAL
GEF

Réglementation Thermique
et Energétique des Bâtiments
Neufs En Tunisie

Label à Haute Performance Energétique des Bâtiments du Secteur Tertiaire

Manuel des Bâtiments à Usage de Bureaux

Sommaire

Préambule 5

A. Cadre général de l'étude 7

A 1 : Situation énergétique du secteur du bâtiment en Tunisie 9

A 2 : Contexte de l'étude 10

A 3 : Objectifs de l'étude 12

B. Approche retenue pour le développement des exigences du label 15

B.1 : Démarche retenue pour le développement des exigences du label 16

B.1.1 Développement d'un bâtiment de référence 17

B.1.2 Les configurations de base et les options d'amélioration du bâtiment de référence 21

B.2 : Analyse technique des résultats obtenus 24

B.2.1 Les besoins thermiques du bâtiment comme indicateur des consommations d'énergie 25

B.2.2 Impact du taux et du type des baies vitrées sur les besoins thermiques des configurations de base 34

B.2.3 Impact de l'isolation thermique des parois opaques sur les besoins thermiques des configurations de base 56

B.3 : Analyse technico-économiques des résultats obtenus 80

B.3.1 Détermination des niveaux de surcoûts observés 81

B.3.2 Normalisation des niveaux de surcoûts observés 82

B.3.3 Présentation des surcoûts observés 82

C. Formulation proposée pour le label - Cas des bâtiments à usage de bureaux 89

C.1 : Analyse statistiques des résultats des simulations 93

C.1.1 Présentation agrégée des résultats des simulations 94

C.1.2 Distribution statistique des résultats des simulations 96

C.1.3 Dispersion des résultats des simulations autour de leur moyenne 98

C.2 : Définition des seuils de performance pour l'exigence réglementaire et le label 98

C.2.1 Formulation générale des seuils du label pour les bâtiments à usage de bureaux 101

C.2.2 Proposition d'une formulation simplifiée du label pour les les bâtiments à usage de bureaux 105

C.2.3 Analyse économique des surcoûts relatifs aux classes énergétiques proposées 109

Annexes 177

Annexe 1 : *Prise en compte des éléments architecturaux de protection solaire dans l'approche prescriptive* 179

Annexe 2 : *Corrélation entre besoins thermiques et consommation d'énergie* 181

Annexe 3 : *Graphiques concernant l'impact de l'isolation thermique pour Jendouba et Tozeur* 187

Préambule

Ce document a été élaboré par M. Mongi BIDA, Ingénieur Conseil (Cabinet d'études CEESEN) pour le compte de l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie (ANME), dans le cadre de la mise en place de la réglementation thermique et énergétique des bâtiments neufs en Tunisie, en vue d'améliorer la qualité thermique de ces bâtiments et de maîtriser leur consommation d'énergie. La présente étude concerne les bâtiments du secteur tertiaire et en particulier les bâtiments à usage de bureaux.

L'objectif de ce document est de familiariser les professionnels du bâtiment (architectes, bureaux d'étude, direction techniques spécialisées de l'administration et promoteurs, etc.) avec cette réglementation et le système de label énergétique mis en place, afin qu'ils en connaissent les principes, le processus qui a conduit à son élaboration et les détails relatifs à sa mise en application.

Partie A

Cadre Général
de l'Étude

Cadre général de l'étude

La présente étude, objet de ce document, se propose de réaliser les objectifs suivants pour le développement du label à haute performance énergétique des bâtiments et de la règlementation minimale, et ce pour les **bâtiments à usage de bureaux :**

1- La définition de seuils adéquats pour l'exigence réglementaire et le label

2- La conception d'unoutil simplifié d'utilisationdu label

Il est à noter que cette étude s'inscrit dans la démarche engagée par l'ANME pour rationaliser la consommation d'énergie dans les secteurs tertiaire et résidentiel. Elle fait partie intégrante du processus de mise en place d'une réglementation thermique et énergétique pour les bâtiments neufs en Tunisie, et vient compléter la panoplie d'actions que mène et compte mener l'ANME dans ce domaine.

L'évolution du secteur du bâtiment dans le contexte énergétique tunisien, et la tendance de l'économie tunisienne vers le développement accru du secteur tertiaire impliquent une demande énergétique de plus en plus importante pour satisfaire les besoins de ce secteur. En effet, les besoins énergétiques du secteur du bâtiment sont en nette progression et risquent de devancer tous les autres secteurs d'ici 2020. La maîtrise de cette demande est donc un enjeu de taille pour l'économie tunisienne, et la mise en place d'une réglementation thermique et énergétique appropriée, complété par un système de label permettrait de contribuer considérablement à réduire la consommation d'énergie des nouveaux bâtiments du secteur tertiaire.

La mise en place d'une réglementation ther mique et énergétique appropriée, complété par un système de label permettrait de contribuer considérablement à réduire la consommation d'énergie des nouveaux bâtiments du secteur tertiaire.

Le système de label permettrait, en outre, de stimuler les actions de maîtrise de l'énergie dans le parc existant des bâtiments de ce secteur en indiquant des objectifs concrets en matière de consommation d'énergie pour hisser les performances énergétiques de ce parc à des niveaux comparables à ceux exigés sur les bâtiments neufs.

Le présent rapport propose une approche globale permettant d'instaurer une réglementation thermique et énergétique destinée aux bâtiments neufs à usage de bureaux, en intégrant cette réglementation dans le cadre d'un système général de label permettant de classer les performances énergétiques de ces bâtiments. Dans ce système, la réglementation thermique et énergétique est définie en terme de seuil de performance minimal, correspondant à un certain niveau de label, qui sera de plus en plus élevé en fonction de l'évolution des objectifs de l'état en matière de maîtrise de l'énergie, et des conditions économiques de ce secteur.

Le présent document est constitué des trois parties suivantes :

Partie A : Cadre général de l'étude ; qui concerne la présente partie, est une introduction du contexte général de la réalisation de cette étude. Elle présente un aperçu sur la situation énergétique du secteur du bâtiment en Tunisie, le contexte de l'étude et ses objectifs.

Partie B : Approche retenue pour le développement des exigences du label ; présente la démarche qui a été retenue pour l'élaboration du système de label proposé, un examen technique des résultats issus de cette démarche et une analyse technico-économique des implications de ces résultats.

Partie C : Formulation proposée pour le Label - Cas des bâtiments à usage de bureaux ; propose une formulation pour le système de label énergétique applicable aux bâtiments à usage de bureaux. Cette formulation est fournie sous forme de deux approches :

Une approche performancielle fixant les spécifications techniques du système de label en terme de performances thermiques et énergétique du bâtiment

Et une approche prescriptive, *version simplifiée* de l'approche performancielle, fixant les spécifications techniques du système de label en terme de propriétés thermo physiques de l'enveloppe du bâtiment.

A.1 Situation énergétique du secteur du bâtiment en Tunisie

La consommation énergétique du secteur du bâtiment (résidentiel et tertiaire) a connu une augmentation importante durant la dernière décennie, et continue de progresser d'une manière assez soutenue. En effet, l'examen de l'évolution sectorielle de la consommation finale d'énergie permet de constater ce qui suit :

- Le taux de croissance de la consommation énergétique du secteur du bâtiment dépasse celui de la consommation totale sur la période 1992-2001 et aux horizons 2010 et 2020.

- La part de la consommation énergétique du secteur du bâtiment passerait successivement de la 3ème position (avec 1610 KTEP représentant 29% de la consommation nationale en 2005), après les secteurs industriel et du transport, à la deuxième position en 2020 et à la première position en 2030.

Cette tendance s'explique en grande partie par le développement économique accéléré qu'a connu la Tunisie durant les dernières années, caractérisé par une forte progression du secteur tertiaire et une amélioration des revenus des ménages. Cet essor s'est traduit *par une augmentation notable des besoins de confort*, exprimés notamment à travers l'acquisition d'équipements de chauffage et de refroidissement, aussi bien par le secteur tertiaire que par le secteur résidentiel. Cette tendance est confirmée par une croissance annuelle d'environ 20% de la consommation d'électricité des ménages pour le poste climatisation entre 1989 et 1999. Le nombre de ménages équipés, ayant passé d'environ 14 000 en 1989 à environ 130 000 en 2004 [Enquêtes STEG (1989, 1994 et 1999) et INS 2004]. La climatisation est aussi responsable, d'après la STEG, du déplacement de la puissance de pointe vers l'été.

D'autre part, les services de l'ANME, à travers la procédure d'audit énergétique des bâtiments existants, ont constaté des imperfections au niveau du parc des bâtiments audités. Ces imperfections touchent au choix conceptuels au niveau architectural, et au niveau des équipements de chauffage et refroidissement installés. Il est certain que ces imperfections viendront aggraver la situation énergétique du secteur.

En réponse à cette situation, le gouvernement tunisien a engagé un certain nombre d'actions, dont la mise en place d'une réglementation thermique et énergétique des bâtiments neufs, afin de contribuer à rationaliser la consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment, et freiner par conséquent la croissance de l'émission des gaz à effet de serre due à la consommation d'énergie fossile dans les secteurs tertiaire et résidentiel.

A.2. Contexte de l'étude

Le projet de «Réglementation Thermique et Energétique des Bâtiments Neufs en Tunisie», en cours de mise en place par l'ANME, vise à influencer d'une manière notable l'évolution des caractéristiques physiques du parc de bâtiment en Tunisie. Cette réglementation concerne essentiellement :

- **D**es exigences concernant l'isolation thermique au niveau de l'enveloppe des bâtiments : Murs, toitures, vitrage et infiltrations non contrôlée d'air (étanchéité de la menuiserie et dispositions à prendre au niveau des ouvertures sur l'extérieur)
- **D**es exigences au niveau des proportions de vitrage selon les orientations
- **D**es exigences concernant la conception, le dimensionnement et la conduite des installations techniques dans le bâtiment

Il est clair, que ce projet devrait aboutir à long terme à un changement significatif du comportement thermique et énergétique des bâtiments en Tunisie et par conséquent leurs consommations énergétiques.

Le processus de mise en place de la réglementation thermique et énergétique des bâtiments neufs en Tunisie, s'articule autour de quatre étapes:

Etape 1 : Etudes préparatoires, qui concerne essentiellement la collecte des données nécessaires pour l'évaluation des performances thermiques des bâtiments

- **A**cquisition des données climatiques de base;
- **D**éfinition du confort hygrothermique;
- **A**cquisition des données sur la construction.

Etape 2 : Elaboration d'une réglementation minimale

- **P**ar l'évaluation technique et économique des divers solutions retenues par le biais de simulations thermiques et énergétique,
- **L**a détermination des exigences minimales réglementaires à partir des résultats obtenus,
- **L**e développement des outils d'aide à l'application de la réglementation.

Etape 3 : Anticipation expérimentale

- **P**hase préparatoire, ayant pour but de sensibiliser les différents acteurs, et de leur fournir les moyens techniques leur permettant de lancer des projets en conformité avec les exigences de la réglementation thermique et énergétique tunisienne.
- **P**hase d'exécution, ayant pour objectif :
  - L'évaluation expérimentale et opérationnelle de l'exigence réglementaire, par la réalisation de projets de démonstration
  - La détermination des niveaux souhaitables des exigences réglementaires sur la base de cette évaluation

- L'adoption par le marché de la construction de l'exigence réglementaire

Le développement des exigences réglementaires et des labels s'inscrit dans le cadre des étapes 2 et 3 de ce processus.

Etape 4: Réglementation optimale

La conduite à terme de l'Etape 3 permettra de dresser les contours de la réglementation thermique et énergétique optimale

A.3. Objectifs de l'étude

Les objectifs de cette étude sont les suivants :

- **P**ermettre au processus réglementaire d'entrer dans une phase fonctionnelle par l'élaboration d'un label de performances thermique et énergétique qui déterminera les niveaux de performance énergétique souhaitable pour la réglementation thermique et énergétique des bâtiments dans le secteur tertiaire.

- **P**ermettre d'évaluer le niveau de performance énergétique d'un projet d'opération de construction d'un bâtiment du secteur tertiaire afin de pouvoir déterminer les possibilités d'amélioration qui peuvent être apportées à ce projet et les niveaux de performance qu'il peut potentiellement atteindre.

Cette démarche sera réalisée selon les deux axes suivants :

- **Définition des seuils adéquats pour l'exigence réglementaire et le label**
- **Proposition d'un outil simplifié permettant d'orienter le concepteur vers les niveaux visés du label**

Partie B

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments á usage de bureaux

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

L'approche retenue pour le développement des niveaux d'exigences du label à haute performance énergétique des bâtiments et de la réglementation minimale, consistait à considérer les trois axes de performance suivants :

- **Performances de l'enveloppe du bâtiment : Niveaux de performance énergétique globale évaluée en terme des besoins spécifiques annuels pour la somme des besoins de chauffage et de refroidissement. Ces besoins sont exprimés en terme d'intensité de besoins énergétiques : [kWh/m².an]**
- **Performances des systèmes de chauffage, climatisation, ventilation et production d'ECS : Niveaux de performance en terme de choix technologiques et efficacité énergétique. Ces performances peuvent aussi être évaluées en terme d'intensités de consommation énergétique, notamment pour les installations de chauffage et de refroidissement.**
- **Performances des systèmes d'éclairage artificiel : Niveaux de performance en terme de choix technologiques et de puissance installée [W/m²]. Les choix technologiques concernent essentiellement la réduction des puissances installées par le recours à des lampes à faible ou basse consommation d'une part, et la mise en place de systèmes de gestion de l'éclairage artificiel intégrant la détection de présence pour allumer/éteindre les luminaires, et la prise en compte de l'apport de l'éclairage naturel en modulant l'intensité lumineuse au sein d'un local en fonction de cet apport, ce qui permet de réduire la consommation d'énergie de ce poste.**

La présente étude examine, d'une manière assez exhaustive, les aspects liés à la performance thermique et énergétique de l'enveloppe (1er axe), et présente une approche pour la prise en compte des aspects relatifs aux deux autres axes.

B.1.Démarche pour la définition des seuils pour l'exigence réglementaire et le label

La définition des seuils adéquats des niveaux d'exigences du label à haute performance énergétique des bâtiments et de la réglementation minimale, pour les bâtiments à usage de bureaux, a été le résultat d'un travail d'exploration détaillée des différents aspects touchant au rôle de l'enveloppe du bâtiment et ses composantes dans ses échanges thermiques et énergétiques avec son environnement immédiat. Cette exploration s'est déroulée selon les phases suivantes :

Phase 1 :

- Définition des bâtiments de référence,
- Conduite des simulations énergétiques nécessaires pour évaluer les consommations spécifiques d'énergie de ces bâtiments de référence,

Phase 2 :

- Sélection des options d'amélioration possibles au niveau de l'enveloppe,
- Evaluation des surcoûts liés à ces options,
- Conduite des simulations énergétiques nécessaires pour évaluer les consommations spécifiques d'énergie des options d'amélioration,
- Evaluation de l'incidence de ces améliorations sur les besoins et les consommations annuels d'énergie pour le {chauffage}, pour le {refroidissement} et pour la somme de ces deux besoins : {chauffage + refroidissement}.

Phase 3 :

- Conduite d'analyses statistiques permettant d'identifier un ou plusieurs seuils réalistes correspondants à la réglementation minimale,
- Conduite d'analyses statistiques permettant d'identifier un mode de classification des différentes options d'amélioration,
- Une concertation avec les services concernés de l'ANME permettra de formuler la version définitive de ces seuils.

B.1.1. Développement d'un bâtiment de référence :

Un bâtiment à usage de bureaux est constitué de plusieurs locaux ou zones d'occupation qui sont occupés, pendant les horaires de travail, soit d'une manière continue : Bureaux, ou d'une manière discontinue : Salles de réunions, circulations, archives et blocs sanitaires. Ces bâtiments se caractérisent par ce qui suit :

- Des locaux qui sont occupés uniquement pendant la journée et horaires de travail : donc un profil d'occupation assez particulier
- Des locaux qui présentent, de nos jours, des taux élevés d'apports internes : Équipements bureautiques, éclairage artificiel,...etc.
- Des locaux qui sont généralement chauffés en hiver, et de plus en plus refroidis en été.

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

Il est donc nécessaire de définir un (ou plusieurs) bâtiment(s) représentatifs de ce parc pour refléter le mode de fonctionnement de ce type d'édifices, afin de pouvoir conduire les simulations nécessaires pour permettre de réaliser les analyses relatives aux options d'amélioration considérées, et la définition des niveaux d'exigences du label à haute performance énergétique et de la réglementation minimale pour ce type de bâtiments.

L'exercice relatif à la définition du(des) bâtiment(s) de référence, représentatifs du parc existant, se base généralement sur des données statistiques concernant ce parc. Cependant, ces données sont pratiquement inexistantes en Tunisie, et compte tenu de l'importance que joue le mode de fonctionnement d'un bâtiment sur son comportement énergétique, il a été décidé de recourir à un bâtiment existant permettant de cerner ces profils d'occupation, et de calibrer ainsi le bâtiment de référence qui serait constitué.

Le siège de l'ANME comme outil de calibrage :

Le bâtiment abritant le siège de l'ANME a été retenu pour permettre de dresser les différents éléments relatifs au fonctionnement type d'un bâtiment à usage de bureaux.

Ce bâtiment est situé dans le quartier Montplaisir, une zone urbaine qui accueille plusieurs sièges d'entreprises publiques et de sociétés privées, ainsi que d'autres bâtiments à usage de bureaux. Les bâtiments implantés dans cette zone datent d'une époque relativement récente, et sont assez représentatifs du parc de bâtiments à usage de bureaux retrouvés dans le pays. Le bâtiment abritant le siège de l'ANME ne présente pas de caractéristiques particulières par rapport aux autres bâtiments implantés dans cette zone, et son mode de fonctionnement est pratiquement identique aux autres bâtiments de ce type.

> *« Le bâtiment abritant le siège de l'ANME a été retenu pour permettre de dresser les différents éléments relatifs au fonctionnement type d'un bâtiment à usage de bureaux. »*

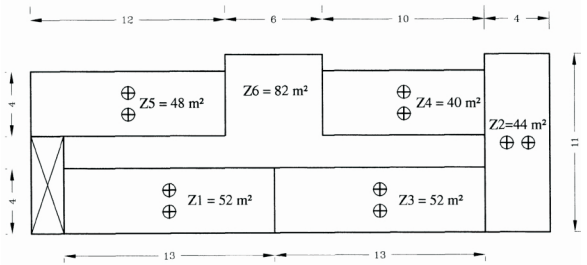
Par ailleurs, on disposait pour ce bâtiment d'un accès pratique à toutes les informations permettant de modéliser le comportement thermique et énergétique du bâtiment, ainsi qu'un historique de factures mensuelles d'électricité pour 4 années consécutives, avec un comptage séparé pour les équipements bureautiques. Ces informations ont permis de modéliser ce bâtiment en utilisant Visual-DOE, et les rapprochements avec les factures de consommations électriques ont permis de calibrer les différents profils d'occupation des locaux. Ainsi on a pu constituer les éléments suivants de modélisation :

- **P**rofils d'occupation des locaux (journaliers, hebdomadaires et saisonniers),
- **T**aux d'équipements en matériel bureautique,
- **C**omportement des occupants traduit en terme de profils de présence, d'utilisation de l'éclairage artificiel et des équipements bureautiques (journaliers, hebdomadaires et saisonniers),
- **E**tc.

Un prototype simplifié de référence :

Une fois les profils d'occupation du bâtiment affiné, un prototype simplifié a été développé afin de pouvoir explorer, d'une manière assez claire, les multitudes de paramètres à prendre en considération et de permettre l'évaluation des impacts des différentes options d'amélioration. Le prototype retenu est un bâtiment rectangulaire **(configuration R)**, composé de trois niveaux identiques qui sont superposés. Chaque niveau est composé de cinq zones conditionnées et de deux zones non conditionnées; le rapport des surfaces conditionnées par rapport à ceux non conditionnées est quasiment identique à celui du bâtiment abritant le siège de l'ANME. La figure suivante présente le plan type d'un niveau.

Configuration R



Deux autres configurations, ont aussi fait l'objet de simulations exploratoires : **Une configuration en L, et une configuration avec un atrium central.**

Les conditions d'exploitation du bâtiment reflètent les pratiques courantes en Tunisie, tout en alignant les consignes de température de confort, et les puissances installées pour l'éclairage artificiel sur les recommandations de l'ANME, qui feront partie des textes relatifs à la réglementation minimale. Ces conditions d'exploitation sont résumées ci-après :

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

Horaires de Travail

Jours Ouvrables	lundi à Vendredi
Présence partielle	Samedi
Horaires d'Eté - Jours Ouvrables (Juillet & Août)	7H00 à 13H30
Horaires " Usuels" - Jours Ouvrables (Autres mois)	8H00 à 18H00
Horaire - Samedi	8H00 à 13H00
Locaux non occupés les Dimanches et Jours Fériés	

Conditions internes des espaces conditionnés : (Bureaux)

Température de consigne de chauffage	20°C
Température de consigne de refroidissement	26°C
Puissance électrique installée	
Eclairage	16 W/m²
Équipements	10W/m²
Nombre d'occupants	1 personne/ 12m²

Conditions internes des espaces non conditionnés : (couloirs, sanitaires, autres)

Températures flottantes (Ni chauffage / Ni refroidissement)	
Puissance électrique installée	
Eclairage	10 W/m²
Équipements	0W/m²
Nombre d'occupants	1 personne/ 25m²

Profils Journaliers d'exploitation des locaux :

Des profils horaires ont été développés pour chaque type de journée et chaque poste d'exploitation : Jour ouvrable pour horaires d'été / Jour ouvrable pour horaires "usuels" / Samedi / Périodes des vacances d'été (1/08 au 15/09) / Dimanche & jours feriés.

Taux d'occupation des locaux: Maximum de 95% hors période de vacances - Maximum de 70% du 1er au 31/08 - Maximum de 85% du 1er au 15/09
Mise en service des équipements bureautiques : fonction du taux d'occupation
Utilisation de l'éclairage artificiel : fonction du taux d'occupation et de la saison.

Mise en service / Disponibilité du système de chauffage des locaux

Périodes de l'année	du 15 Novau 31 Mars (4,5 mois)
Horaire - Jours ouvrables (lundi à vendredi)	8H00 à 18H00
Horaire - Samedi	8H00 à 13H00
Dimanches & Jours fériés	Pas de chauffage

Mise en service / Disponibilité du système de refroidissement des locaux

Périodes de l'année	du 1er Juin au 30 Septembre (4 mois)
Jours ouvrables (lundi à Vendredi)	Horaires " usuels " (Juin & Septembre) 8H00 à 18H00
Jours ouvrables (lundi à Vendredi)	Horaires " d'été " (Juillet & Août) 8H00 à 14H00
Horaire - Samedi	8H00 à 13H00 (pour les 4 mois)
Dimanches & Jours fériés	Pas de refroidissement

Il est à noter que les périodes de l'année relatives à la mise en service ou disponibilité des systèmes de chauffage et de refroidissement couvrent les périodes officielles indiquées dans le circulaire du premier ministère, avec un léger débordement pour tenir compte des pratiques usuelles en dehors du secteur public.

B.1.2. Les configurations de base et les options d'amélioration du bâtiment de référence

Afin de pouvoir explorer l'impact des différents aspects liés à la performance thermique et énergétique de l'enveloppe, le bâtiment de référence a été doté d'une enveloppe assez courante dans les constructions contemporaines en Tunisie : Une ossature en béton armé avec des dalles à hourdis, des murs extérieurs en double cloison de briques creuses, des cloisons intérieures en briques creuses et des fenêtre en simple vitrage clair et menuiserie aluminium. Cinq niveaux de taux de vitrage ont été considérés (10%, 15%, 25%, 35% et 45%), et deux orientations principales (axe principal orienté Nord ou Est). Chaque taux de vitrage et chaque orientation correspondent à une configuration de base à la quelle des améliorations seront apportées.

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

Pour chacune des configurations de base, les options d'amélioration suivantes ont été explorées en individuel ou en combinaison avec une ou deux autres options :

- Trois niveaux d'isolation thermique pour les murs extérieurs
- Trois niveaux d'isolation thermiques pour la toiture
- Six différents types de vitrage

Au total, 850 configurations ont été simulés, dont 10 configurations de base (5 taux de vitrage x 2 orientations) et 840 configurations comportant 1, 2 ou 3 améliorations. Les tableaux suivants présentent les différents paramètres utilisés dans les combinaisons d'options d'amélioration objet des diverses simulations.

Par ailleurs, trois sites représentatifs des 3 zones climatiques règlementaires ont été utilisés dans ces simulations :

Tunis **(Zone climatique ZT1 : zone méditerranéenne),**
Jendouba **(Zone climatique ZT2 : les hauts plateaux du nord)**
Tozeur **(Zone climatique ZT3 : les hauts plateaux du sud).**

Au total 2550 variantes ont été considérées dans cette étude.
Les résultats des simulations des diverses configurations citées sont présentés dans la partie suivante.

Il est à noter que d'autres simulations ont été réalisées à titre exploratoire, afin de mieux comprendre le comportement thermique et énergétique des bâtiments à usage de bureaux et leurs enveloppes. Ces simulations incluent des degrés plus élevés d'isolation thermiques au niveau des murs et des toitures, des parois extérieurs présentant des niveaux d'inertie thermique plus élevés, la permutation de l'emplacement de l'inertie thermique au sein du mur extérieur, et l'utilisation de systèmes de gestion de l'éclairage artificiel pour prendre en compte les apports de l'éclairage naturel.

Définition des variantes de murs extérieurs

Repérage variante	Dénomination parois	Coef. U de la paroi [W/m².K]	OBSERVATIONS (voir détails "composition parois" en annexe)
Base	PDC -BC_MI0	1,11	Configuration de Base : Double cloison (Briques) de 35 cm: (enduit ext. + Briques 12 troues+ lame d'air + Brique plâtrière + enduit int.)- Mur non isolé
MIP	PDC -BC_MPol4	0,87	Double cloison (Briques) de 33cm : (enduit extérieur + Briques 12 troues + 4 cm béton de polystyrène + Brique plâtrière + enduit int.)- Mur "faiblement" isolé / isolation avec inertie thermique
MI2	PDC -BC_MI2	0,80	Double cloison (Briques) de 33cm : (enduit ext. + Briques 12 troues + 2 cm polystyrène + Brique plâtrière + enduit int.)- Mur "faiblement" isolé
MI4	PDC -BC_MI4	0,57	Double cloison (Briques) de 35cm : (enduit ext. + Briques 12 troues + 4 cm polystyrène + Brique plâtrière + enduit intérieur) - Mur "Moyennement" isolé

Et ce pour chacun des cinq différents taux de baies vitrées (10%, 15%, 25%, 35% et 45%), et chacune des deux orientations principales (Nord et Est). Soit : 3 variantes x 5 taux de baies vitrées x 2 orientations = 30 configurations

Définition des variantes de toitures exposées

Repérage variante	Dénomination parois	Coef. U de la paroi [W/m².K]	OBSERVATIONS (voir détails "composition parois" en annexe)
Base (TI0)	Toit_H165 -T0	2,20	Configuration de base : Plancher terrasse - Corps creux 16 + 5 / forme de pente en béton / Etanchéité - Toiture non isolée
TIP	Toit_H165 -Poly10	0,72	Plancher terrasse - Corps creux 16 + 5 / forme de pente en béton de polystyrène / Etanchéité - Toiture "moyennement" isolée / isolation avec inertie thermique
TI4	Toit_H165 -TI4	0,69	Plancher terrasse - Corps creux 16 + 5 / 4 cm polystyrène / forme de pente en béton / Etanchéité - Toiture "moyennement" isolée
TI6	Toit_H165 -TI6	0,51	Plancher terrasse - Corps creux 16 + 5 / 6 cm polystyrène / forme de pente en béton / Etanchéité - Toiture "fortement" isolée

Soit : 3 variantes x 5 Taux de baies vitrées x 2 orientations = 30 configurations
Combinaisons Murs / Toitures considérées :

MI2-TIP // MI2-TI4 // MI2-TI6
MI4-TIP // MI4-TI4 // MI4-TI6

Soit : 6 variantes x 5 Taux de baies vitrées x 2 orientations = 60 configurations

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

Définition des variantes de vitrages

Repérage Variante	Dénomination vitrage (DOE)	Coef. U du vitrage [w/m².K]	OBSERVATIONS (tous les vitrages avec menuiserie alu)	Propriétés du vitrage		
				SHGC	SC	Tvis
Base [SVC]	Single Clear -6mm	6,172	Configuration de base : Simple Vitrage clair, ép.=6 mm	0,815	0,95	0,881
SVBR	Single Bronze -6mm	6,172	Simple Vitrage Bronze, ép.=6 mm	0,61	0,71	0,534
SVCLE	Single Clear Low -e2 -6mm	4,270	Simple Vitrage faible émissivité, ép.=6 mm	0,719	0,84	0,81
SVPYR	Single Clear Pyr -6mm	6,121	Simple Vitrage Réfléchissant, é p.=6 mm	0,499	0,58	0,334
DVC	Double Clear IG - 6/6/6mm	3,163	Double Vitrage Isolant, ép.= 6 / 6 / 6 mm	0,695	0,81	0,781
DVBR	Double Bronze IG - 6/6/6mm	3,160	Double Vitrage Isolant Bronze, ép.= 6 / 6 / 6 mm	0,492	0,57	0,473
DVCLE	Double Low-e (e2=.04 Clear IG 6/12/6mm)	1,658	Double Vitrage isolant à faible émissivité, ép. = 6 / 12 / 6 mm	0,417	0,48	0,682

Soit : 6 variantes x 5 Taux de baies vitrées x 2 orientations = 60 configurations

Combinaisons Murs / Vitrages considérées :

MI2- SVBR // MI2- SVCLE // MI2-SVPYR // MI2- DVC // MI2- DVBR // MI2- DVCLE
MI4- SVBR // MI4- SVCLE // MI4-SVPYR // MI4- DVC // MI4- DVBR // MI4- DVCLE

Soit : 12 variantes x 5 Taux de baies vitrées x 2 orientations = 120 configurations.

Combinaisons Toitures / Vitrages considérées :

TIP- SVBR // TIP- SVCLE // TIP-SVPYR // TIP- DVC // TIP- DVBR // TIP- DVCLE
TI4- SVBR // TI4- SVCLE // TI4-SVPYR // TI4- DVC // TI4- DVBR // TI4- DVCLE
TI6- SVBR // TI6- SVCLE // TI6-SVPYR // TI6- DVC // TI6- DVBR // TI6- DVCLE

Soit : 18 variantes x 5 Taux de baies vitrées x 2 orientations = 180 configurations.

Combinaisons Toitures / Murs / Vitrages considérées :

MI2-TIP-SVBR // MI2-TIP-SVCLE // MI2-TIP-SVPYR // MI2-TIP-DVC // MI2-TIP-DVBR // MI2-TIP-DVCLE
MI2-TI4-SVBR // MI2-TI4-SVCLE // MI2-TI4-SVPYR // MI2-TI4-DVC // MI2-TI4-DVBR // MI2-TI4-DVCLE
MI2-TI6-SVBR // MI2-TI6-SVCLE // MI2-TI6-SVPYR // MI2-TI6-DVC // MI2-TI6-DVBR // MI2-TI6-DVCLE
MI4-TIP-SVBR // MI4-TIP-SVCLE // MI4-TIP-SVPYR // MI4-TIP-DVC // MI4-TIP-DVBR // MI4-TIP-DVCLE
MI4-TI4-SVBR // MI4-TI4-SVCLE // MI4-TI4-SVPYR // MI4-TI4-DVC // MI4-TI4-DVBR // MI4-TI4-DVCLE
MI4-TI6-SVBR // MI4-TI6-SVCLE // MI4-TI6-SVPYR // MI4-TI6-DVC // MI4-TI6-DVBR // MI4-TI6-DVCLE

Soit 36 variantes x 5 Taux de baies vitrées x 2 orientations = 360 configurations.

B.2. Analyse technique des résultats obtenus

Afin de pouvoir évaluer l'incidence des différents choix retenus au niveau de l'enveloppe d'un bâtiment : Taux de baies vitrées, orientation et niveaux d'isolations thermiques des parois opaques, il est nécessaire de pouvoir comparer les différentes configurations, abstraction faite des installations de chauffage ou refroidissement qui ont été retenues.

Il a été donc décidé de baser l'analyse technique sur les besoins (charges) calorifiques et/ou frigorifiques associés aux différentes configurations se base sur l'examen des besoins spécifiques annuels pour le {chauffage}, pour le {refroidissement} et pour la somme de ces deux besoins : {chauffage + refroidissement}. Ces besoins sont exprimés en terme d'intensité de besoins thermiques : [kWh/m².an].

B.2.1. Les besoins thermiques du bâtiment comme indicateurs des consommations d'énergie

L'utilisation de l'intensité des besoins (charges) calorifiques et/ou frigorifiques du bâtiment (performances thermiques), comme moyen d'évaluation des performances énergétiques de l'enveloppe, a été retenue afin de pouvoir juger ces performances indépendamment du type d'installation, de chauffage et/ou refroidissement, utilisée. Toutefois, il est nécessaire de pouvoir traduire ces performances thermiques en terme de consommation d'énergie, et de vérifier qu'une corrélation existe entre les besoins thermiques totaux {chauffage + refroidissement}, et les consommations d'énergie totales correspondantes du bâtiment.

Il est à rappeler à ce stade que la consommation d'énergie *finale* pour le chauffage est du même ordre de grandeur que les besoins thermiques pour le chauffage (0,8), et que la consommation d'énergie *finale* pour le refroidissement est de l'ordre de grandeur du tiers des besoins énergétiques pour les installations de production de froid à base de compresseur électriques (COP 3), et du même ordre de grandeur que les besoins thermiques pour les installations de production de froid à base de machines à absorption ou moteurs thermiques (COP 1). Il est donc évident qu'il n'existe pas de corrélation simple entre la somme des besoins thermiques {chauffage + refroidissement}, et la somme des consommations d'énergies *finales* correspondantes. Ce qui semblerait exclure la possibilité de traduire les performances thermiques globales en terme de performance énergétique globale.

Toutefois, et compte tenu du contexte tunisien où la production d'électricité est assurée à plus de 99% à partir d'énergie fossile (essentiellement du gaz naturel) avec un rendement de transformation de l'ordre de 35%, ainsi que le cadre de cette étude qui a pour objectif d'établir une réglementation thermique et énergétique qui vise aussi bien l'intérêt de la communauté, que celui du consommateur, il est plus approprié d'effectuer l'évaluation des performances énergétiques des bâtiments en terme d'énergie *primaire*.

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

Dans ce cas, il est facile de démontrer que la consommation d'énergie *primaire* est du même ordre de grandeur que les besoins thermiques, quelque soit le type d'installation, de chauffage et/ou refroidissement, utilisée. Et qu'il existe une corrélation simple entre la somme des besoins thermiques de chauffage et de refroidissement en [kWh/m².an], et la somme des consommations d'énergies *primaires* correspondantes en [Thermies /m².an].

Dans la présente étude, la consommation d'énergie *primaire* correspondant aux différentes configurations a été évaluée sur la base d'installations de chauffage et refroidissement de référence, qui correspondent à des installations de performances moyennes, couramment utilisées en Tunisie. Dans ces configurations de référence, chacune des différentes zones est munie d'une unité de traitement d'air, équipée d'une batterie à eau chaude et d'une batterie à eau glacée, qui assure le chauffage ou refroidissement de la zone concernée. La production calorifique est assurée par une chaudière à gaz, et la production frigorifique est assurée par un groupe de production d'eau glacée à compresseur électrique, ces deux équipements ayant un niveau de performance énergétique moyen, afin de servir comme configuration de base à des installations plus performantes.

Les résultats obtenus montrent une nette corrélation, aussi bien entre les besoins thermiques, que les besoins frigorifiques et la consommation d'énergie primaire correspondante, ainsi que la somme des besoins thermiques {chauffage + refroidissement} et la somme des consommations d'énergie primaire correspondantes.

Des expressions issues de régressions linéaires des résultats correspondant au 850 configurations de chaque site (Tunis, Jendouba et Tozeur) sont données en annexe afin de permettre l'estimation de la consommation d'énergie primaire à partir des besoins thermiques de chauffage, refroidissement ou la somme des deux besoins. D'autres expressions permettent d'estimer les besoins thermiques de chauffage, refroidissement ou la somme des deux, à partir de la consommation d'énergie primaire correspondante. Les coefficients de corrélation sont tous supérieur à 0,99.

Les expressions permettant de remonter vers les besoins thermiques à partir des consommations d'énergie primaire peuvent être utilisées pour déterminer un niveau d'intensité de besoins thermiques équivalent, en [kWh/m².an], à partir de relevés de consommation d'énergie d'un bâtiment en exploitation.

Un exercice qui peut s'avérer assez utile dans le cas où il est question de vouloir situer les performances énergétiques de tel bâtiment par rapport à l'échelle de performance qui constitue le label. Ces questions seront discutées en plus de détail dans la troisième partie de ce manuel.

Les graphiques suivant présentent les courbes de dispersion des consommations d'énergie primaire par rapport aux besoins thermiques correspondant, respectivement, pour le chauffage, le refroidissement et la somme des deux.

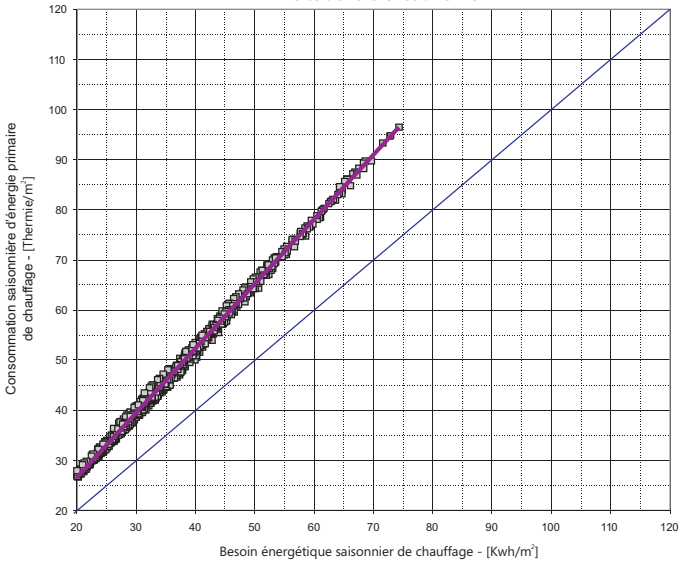
Le dernier graphique présente la courbe de dispersion des consommations d'énergie primaire correspondant à la somme {chauffage + refroidissement}, estimées à partir des corrélations par rapport aux consommations d'énergie primaires issues des résultats des simulations.

En conclusion, on peut affirmer que les intensités des besoins (charges) calorifiques et/ou frigorifiques du bâtiment (performances thermiques), peuvent être utilisées comme moyen d'évaluation des performances énergétiques de l'enveloppe, indépendamment du type d'installation, de chauffage et/ou refroidissement, considéré. Et qu'il est tout à fait possible de traduire ces performances thermiques en performance énergétique, en terme de consommation d'énergie primaire, moyennant une simple corrélation entre les besoins thermiques totaux de chauffage et de refroidissement, et les consommations d'énergie primaire correspondantes à une configuration de référence d'installation de chauffage et de refroidissement. Cet exercice permettrait d'évaluer les performances d'installations de chauffage et refroidissement d'une efficacité énergétique différente des configurations de référence, et peut facilement s'étendre aux consommations totales d'énergie primaire du bâtiment, en incluant d'autres usages tel que l'éclairage artificiel.

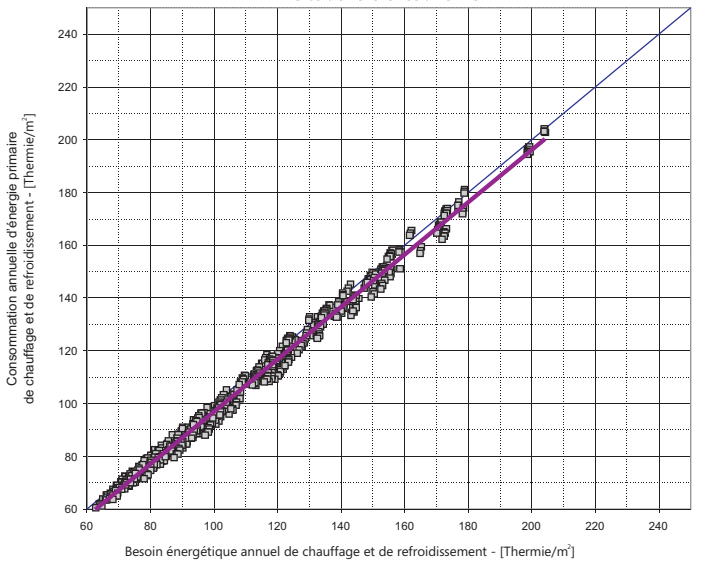
Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

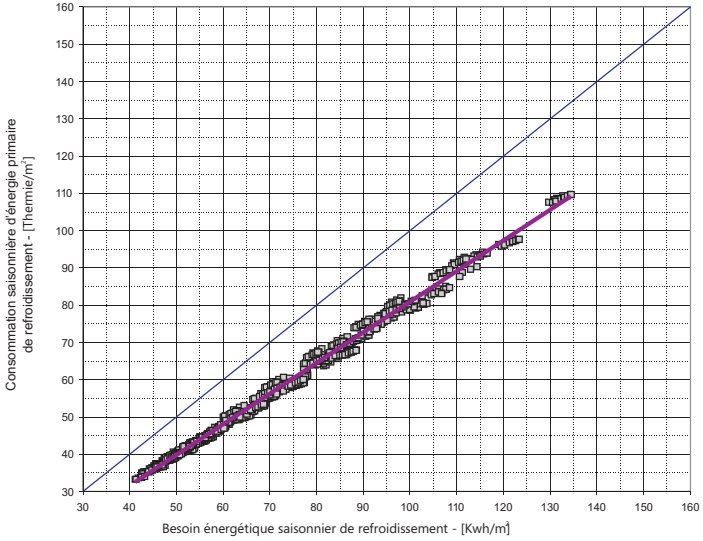
Consommations saisonnières d'énergie primaire de chauffage en fonction des besoins énergétiques saisonniers de chauffage
site de référence : TUNIS



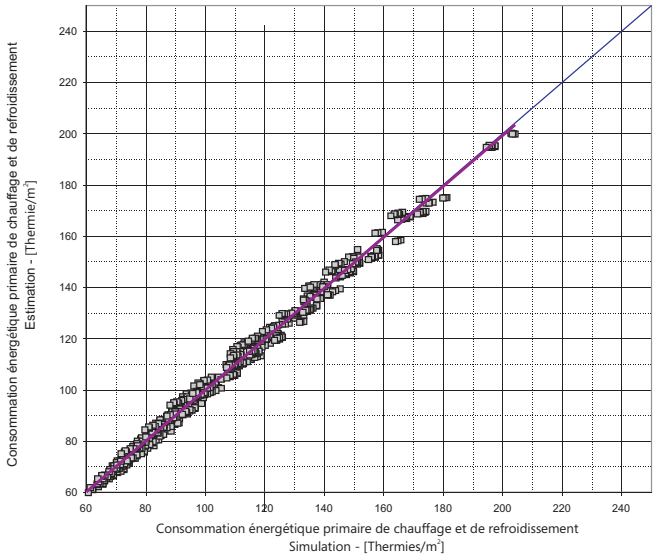
Consommations annuelles d'énergie primaire de chauffage et de refroidissement en fonction des besoins énergétiques annuelles de chauffage et de refroidissement
Site de référence : TUNIS



Consommations saisonnières d'énergie primaire de refroidissement en fonction des besoins énergétiques saisonniers de refroidissement
Site de référence : TUNIS



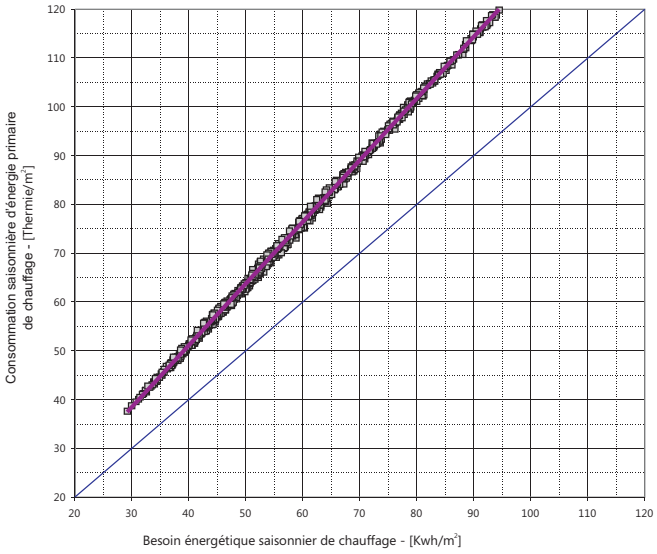
Consommations annuelles d'énergie primaire de consommation de chauffage et refroidissement - Estimation [Correlation] - simulation
Site de référence : TUNIS



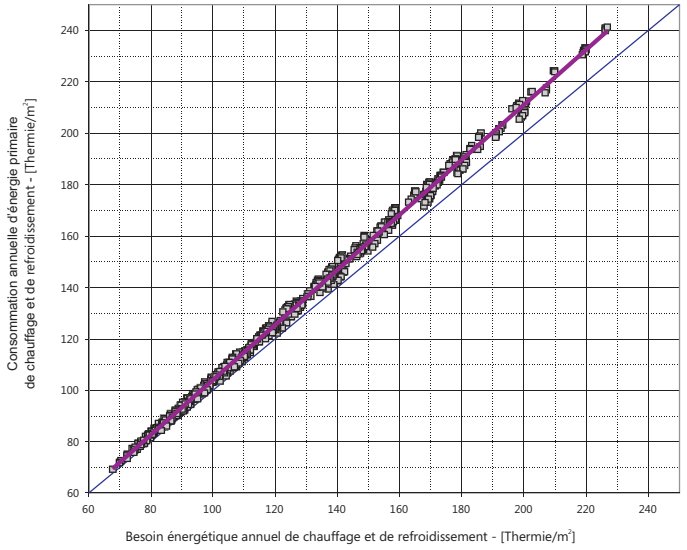
Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

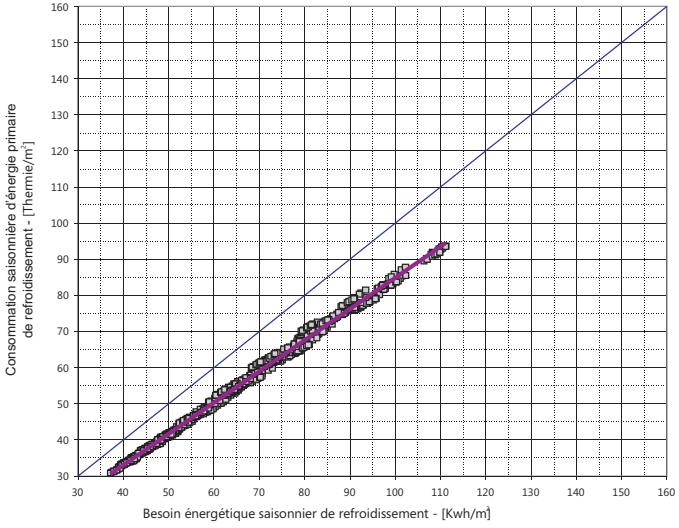
Consommations saisonnières d'énergie primaire de chauffage en fonction des besoins énergétiques saisonniers de chauffage
Site de référence : JENDOUBA



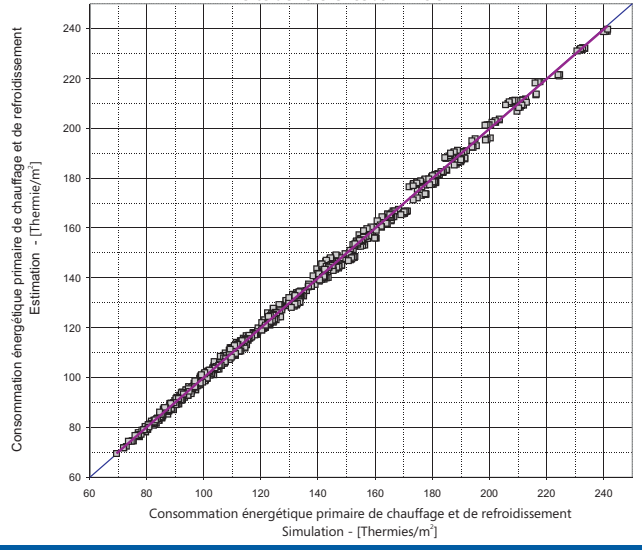
Consommations annuelles d'énergie primaire de chauffage et de refroidissement en fonction des besoins énergétiques annuels de chauffage et de refroidissement
Site de référence : JENDOUBA



Consommations saisonnières d'énergie primaire de refroidissement en fonction des besoins énergétiques saisonniers de refroidissement
Site de référence : JENDOUBA



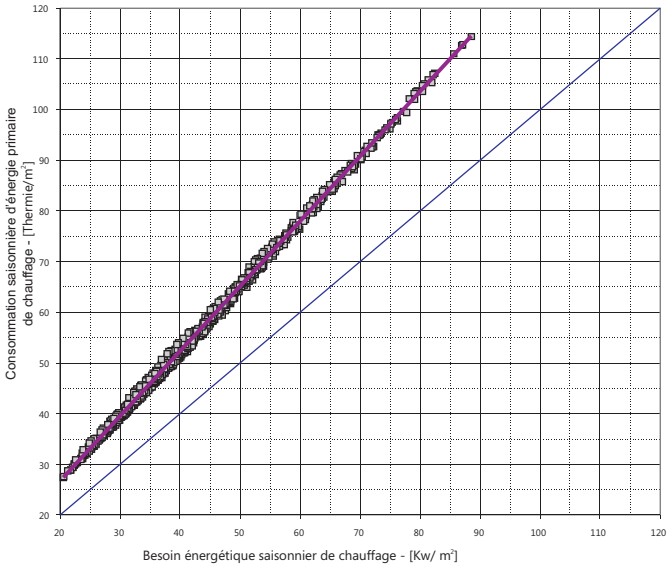
Consommations annuelles d'énergie primaire de chauffage et de refroidissement
Estimation [Correlation] Vs simulation
Site de référence : JENDOUBA



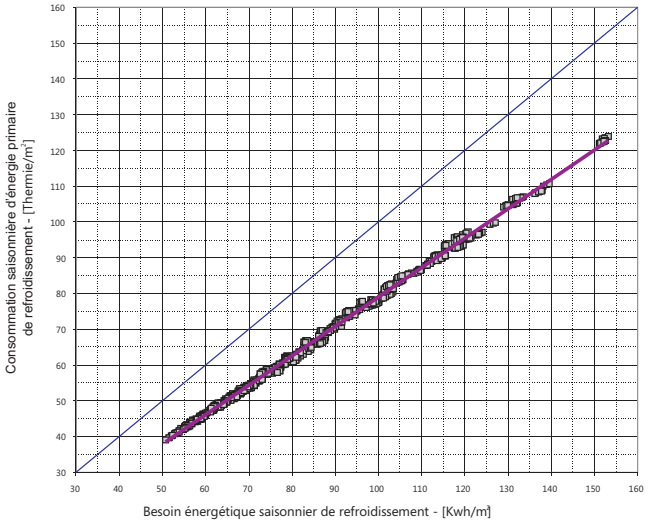
Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

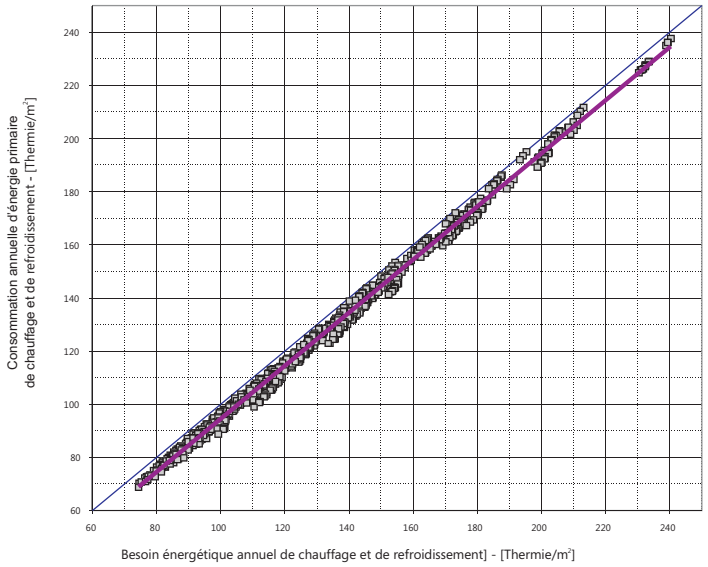
Consommations saisonnières d'énergie primaire de chauffage en fonction des besoins énergétiques saisonniers de chauffage
Site de référence : TOZEUR



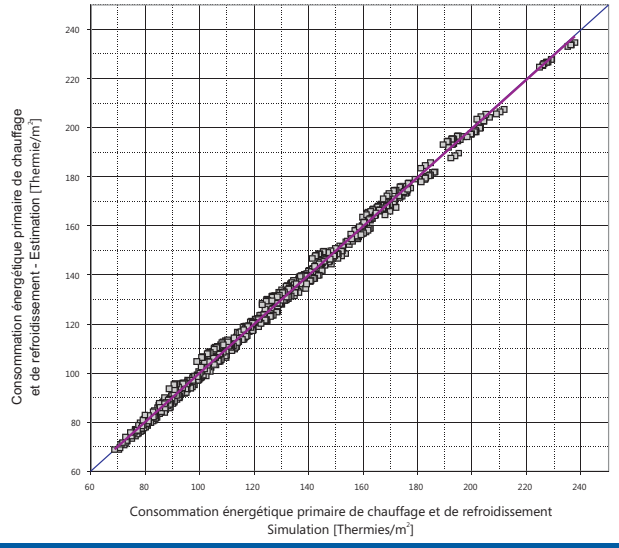
Consommations saisonnières d'énergie primaire de refroidissement en fonction des besoins énergétiques saisonniers de refroidissement
Site de référence : TOZEUR



Consommations annuelles d'énergie primaire de chauffage et de refroidissement en fonction des besoins énergétiques annuelsde chauffage et de refroidissement
Site de référence : TOZEUR



Consommations annuelles d'énergie primaire de chauffage et de refroidissement - Estimation [Correlation] Vs simulation
Site de référence : TOZEUR



B.2.2. Impact du taux des baies vitrées et du type de vitrage sur les besoins thermiques des configurations de base

Dans cette partie, l'incidence du taux des baies vitrées et du type de vitrage sur les besoins thermiques des configurations de base est présentée. Cette incidence est exposée aussi bien pour les besoins thermiques de chauffage, les besoins thermiques de refroidissement ainsi que la sommes des ces deux besoins.
L'examen des résultats issus des simulations des différentes configurations de base qui n'ont subit qu'un changement au niveau du taux des baies vitrées ou du type de vitrage a permis de faire les constatations suivantes :

Impacts sur les besoins calorifiques de chauffage du bâtiment

Les résultats révèlent qu'en règle générale, les besoins de chauffage augmentent en fonction de l'augmentation du taux des baies vitrées. et ce pour tous les types de vitrage, et les deux orientations principales du bâtiment qui ont été considérées. Toutefois, le double vitrage munie de film à faible émissivité présente la particularité d'avoir, dans le cas des sites de Tunis et Tozeur, et pour une configuration du bâtiment orienté Nord/Sud, des besoins thermiques plus faibles pour des taux des baies vitrées plus élevés, avec un minimum de besoins thermiques situés autour de 25 à 35% de vitrage.

> **« Les besoins de chauffage augmentent d'une manière quasi linéaire en fonction du taux des baies vitrées »**

Cette singularité s'explique par le fait que ces deux sites se distinguent du site de Jendouba par des besoins de chauffage relativement plus faibles, et un meilleur ensoleillement pendant la saison de chauffage. Le vitrage en question étant un vitrage très performant, ses apports solaires utiles à travers les orientations sud dépasseraient ses déperditions à travers toutes les orientations, et ce jusqu'à un taux des baies vitrées de 35%.

Donc, abstraction faite de cette exception, il a été constaté que les besoins de chauffage augmentent d'une manière quasi linéaire en fonction du **taux des baies vitrées**. Les résultats suivants ont été observés en passant d'un taux de vitrage de **10** à **45%** :

Dans le cas d'un simple vitrage clair [SVC], les besoins thermiques de chauffage augmentent d'environ 50% (Tunis et Tozeur) à 60% (Jendouba) pour un bâtiment orienté Nord/Sud, et d'environ 80% (Tunis et Tozeur) à 90% (Jendouba) pour un bâtiment orienté Est/Ouest.

Dans le cas d'un simple vitrage couleur bronze [SVBR], les mêmes tendances sont observés avec une augmentation des besoins de chauffage d'environ 45% (Tunis & Tozeur) à 60% (Jendouba) pour un bâtiment orienté Nord/Sud, et d'environ 70% (Tunis & Tozeur) à 80% (Jendouba) pour un bâtiment orienté Est/Ouest.

Dans le cas d'un simple vitrage muni d'un film réfléchissant [SVPYR], des tendances similaires sont observées avec une augmentation des besoins de chauffage d'environ 40% (Tunis et Tozeur) à 50% (Jendouba) pour un bâtiment orienté Nord/Sud, et d'environ 65% (Tunis et Tozeur) à 70% (Jendouba) pour un bâtiment orienté Est/Ouest.

Dans le cas d'un simple vitrage muni d'un film à faible émissivité [SVCLE], l'augmentation des besoins de chauffage est d'environ 30% (Tunis et Tozeur) à 40% (Jendouba) pour un bâtiment orienté Nord/Sud, et d'environ 45% (Tunis et Tozeur) à 60% (Jendouba) pour un bâtiment orienté Est/Ouest.

Dans le cas d'un double vitrage clair [DVC], l'augmentation des besoins de chauffage est d'environ 25% (Tunis et Tozeur) à 45% (Jendouba) pour un bâtiment orienté Nord/Sud, et d'environ 60% (Tunis et Tozeur) à 75% (Jendouba) pour un bâtiment orienté Est/Ouest.

Dans le cas d'un double vitrage couleur bronze [DVBR], l'augmentation des besoins de chauffage est d'environ 20% (Tunis et Tozeur) à 40% (Jendouba) pour un bâtiment orienté Nord/Sud, et d'environ 50% (Tunis et Tozeur) à 60% (Jendouba) pour un bâtiment orienté Est/Ouest.

Dans le cas d'un double vitrage muni d'un film à faible émissivité [DVCLE], on constate aussi une augmentation des besoins de chauffage d'environ 20-30% (Tunis & Tozeur) à 40% (Jendouba) pour le bâtiment orienté Est/Ouest. Néanmoins, pour un bâtiment orienté Nord/Sud, une réduction des besoins thermiques de chauffage est constatée avec l'augmentation du taux des baies vitrées, dont une réduction

maximale d'environ 3% correspondant à un taux des baies vitrées de 25-35% pour les sites de Tunis et Tozeur, alors que pour le site de Jendouba l'augmentation du taux des baies vitrées se traduit toujours par une augmentation des besoins de chauffage (environ 15%).
Le tableau suivant donne un aperçu des résultats par site, pour les sept types de vitrage :

Impact du taux des baies vitrées sur les besoins de chauffage du bâtiment considéré (Variation des besoins suite à un passage d'un taux des baies vitrées de 10% à un taux de 45%)

SITE	Orientation du bâtiment	Types de vitrage considérés						
		SVC	SVBR	SVCLE	SVPYR	DVC	DVBR	DVCLE
Tunis (ZT1)	Nord	+52%	+45%	+27%	+43%	+25%	+19%	-3%
	Est	+83%	+73%	+44%	+66%	+58%	+46%	+21%
Jendouba (ZT2)	Nord	+62%	+59%	+40%	+48%	+44%	+39%	+14%
	Est	+91%	+82%	+60%	+70%	+75%	+63%	+38%
Tozeur (ZT3)	Nord	+49%	+42%	+29%	+40%	+26%	+18%	-2%
	Est	+83%	+73%	+48%	+66%	+63%	+49%	+28%

En ce qui concerne l'incidence du type de vitrage sur les besoins thermiques de chauffage :

Le simple vitrage clair [SVC], est le vitrage le moins performant, en particulier pour un bâtiment orienté Est/Ouest, et ce pour les 3 sites considérés (Tunis, Jendouba et Tozeur).

Le simple vitrage couleur bronze [SVBR], ou celui muni d'un film réfléchissant [SVPYR], présentent des performances similaires à ceux du simple vitrage clair [SVC].

Le double vitrage clair [DVC] permet une réduction des besoins thermiques de chauffage d'environ 7% pour un taux des baies vitrées=10%, et d'environ 15-20% pour un taux des baies vitrées=45%, par rapport à un simple vitrage clair associé au même taux des baies vitrées.

Le double vitrage couleur bronze [DVBR] permet une réduction des besoins thermiques de chauffage d'environ 6-9% pour un taux des baies vitrées=10%, et d'environ 20-27% pour un taux des baies vitrées=45%, par rapport à un simple vitrage clair associé au même taux des baies vitrées.

Le simple vitrage muni d'un film à faible émissivité [SVCLE], présente des performances similaires à ceux du double vitrage clair [DVC] ou couleur bronze [DVBR].

Le double vitrage muni d'un film à faible émissivité [DVCLE] permet une réduction des besoins thermiques de chauffage d'environ 10-15% pour un taux des baies vitrées=10%, et d'environ 40% pour un taux des baies vitrées=45%, par rapport à un simple vitrage clair associé au même taux des baies vitrées.
Le tableau suivant donne un aperçu des résultats par site, pour les quatre types de vitrage permettant de réduire les besoins de chauffage par rapport au simple vitrage clair :

Impact du type de vitrage sur les besoins de chauffage du bâtiment considéré (Variation des besoins par rapport à un simple vitrage clair au même taux des baies vitrées; TBV)

SITE	Orientation du bâtiment	Types de vitrage considérés							
		SVCLE		DVC		DVBR		DVCLE	
		TBV= 0,10	TBV= 0,45	TBV=0,10	TBV=0,45	TBV=0,10	TBV= 0,45	TBV=0,10	TBV= 0,45
Tunis (ZT1)	Nord	- 8%	- 23%	- 7%	- 23%	- 6%	- 26%	- 10%	- 43%
	Est	- 8%	- 27%	- 7%	- 20%	- 8%	- 27%	- 13%	- 43%
Jendouba (ZT2)	Nord	- 7%	- 19%	- 7%	- 17%	- 7%	- 20%	- 12%	- 38%
	Est	- 7%	- 22%	- 7%	- 15%	- 9%	- 23%	- 15%	- 39%
Tozeur (ZT3)	Nord	- 8%	- 20%	- 7%	- 22%	- 6%	- 26%	- 11%	- 41%
	Est	- 8%	- 26%	- 7%	- 18%	- 9%	- 26%	- 15%	- 41%

En conclusion, on peut affirmer, qu'en règle générale (dans le climat tunisien) et dans le cas de bâtiments à usage de bureaux, l'augmentation du taux de vitrage engendre une augmentation des besoins thermiques de chauffage, sauf dans le cas de vitrage thermiquement très performant [DVCLE] installé sur une orientation favorable, et localisé dans un site dont les besoins de chauffage ne sont pas très importants.
Cette tendance est probablement due au fait que dans les bâtiments à usage de bureaux, les apports internes (éclairage artificiel, équipements bureautiques, etc.) sont assez élevés, et que dans le climat tunisien, ces apports peuvent couvrir une fraction importante des déperditions du bâtiment qui ont lieu, en moyenne, durant les horaires de travail (pendant le jour).

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

Par conséquent, une partie importante des apports solaires ne contribue qu'à la surchauffe du bâtiment, et par conséquent ne permette pas de réduire ses besoins thermiques (dans un bâtiment occupé jour et nuit, cet excédent d'apports solaires est emmagasiné par l'inertie thermique durant le jour et restitué à l'espace conditionné pendant la nuit). L'augmentation du taux des baies vitrées aurait tendance à renforcer ce phénomène durant les jours qui sont assez ensoleillés, avec des températures extérieures relativement clémentes.

Pendant les jours qui ne sont pas assez ensoleillés, avec des températures relativement faibles, l'augmentation du taux des baies vitrées ne peut avoir qu'une incidence négative sur les besoins thermiques pour le chauffage. L'alternance de ces deux phénomènes se traduit par une augmentation des besoins thermiques de chauffage avec l'augmentation du taux des baies vitrées. Seul un vitrage thermiquement performant (coefficient de déperdition thermique du même ordre de grandeur que le mur extérieur) permet d'inverser cette tendance quand le vitrage est situé sur une orientation favorable des parois extérieures.
D'autres part, les vitrages les plus performants en terme de réduction des besoins thermiques de chauffage sont ceux qui possèdent les coefficients de déperdition thermique les plus faible.

En fin, l'orientation des vitrages a une incidence primordiale sur les besoins thermiques de chauffage d'un bâtiment. En effet, ces besoins sont nettement moins importants dans un bâtiment où le vitrage est orienté Sud que dans un bâtiment où le vitrage est orienté Est/Ouest. L'incidence de l'orientation du vitrage sur les besoins thermiques de chauffage est particulièrement prononcée quand le taux des baies vitrées est élevé.
Les graphiques suivants illustrent l'impact du taux des baies vitrées et du type de vitrage sur les besoins de chauffage pour les configurations de base qui ont fait l'objet de cette étude, et ce pour les 3 sites considérés (Tunis, Tozeur et Jendouba).

Variation des besoins thermiques de chauffage d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du type et du taux des baies vitrées pour deux orientations différentes
Site de référence : TUNIS

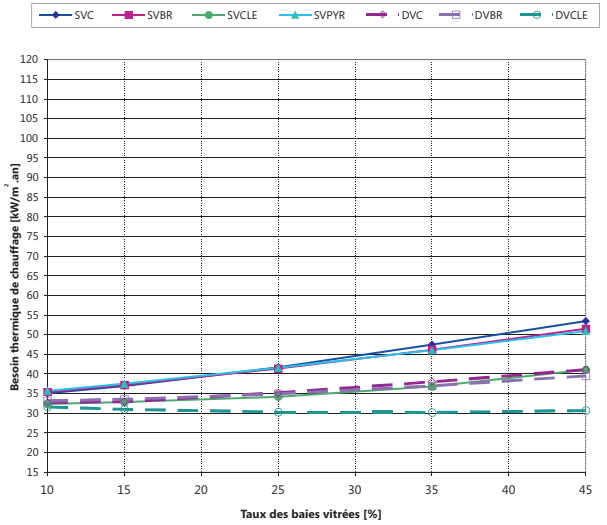


Fig. (a) : Axe principal du bâtiment orienté NORD

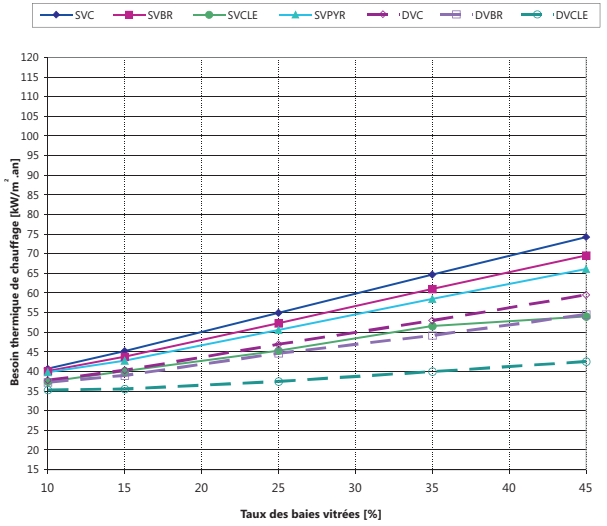


Fig. (b) : Axe principal du bâtiment orienté EST

SVC : Simple Vitrage Clair (configuration de base)
SVBR : Simple Vitrage Bronze
DVC : Double Vitrage Clair
SVPYR : Simple Vitrage avec film réfléchissant
SVCLE : Simple Vitrage avec film faible émissivité
DVBR : Double Vitrage Bronze
DVCLE : Double Vitrage avec film faible émissivité

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

Variation des besoins thermiques de chauffage d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du type et du taux des baies vitrées pour deux orientations différentes
Site de référence : JENDOUBA

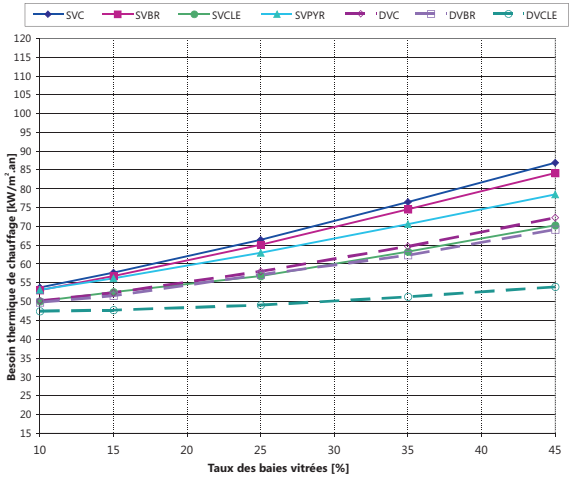


Fig. (a) : Axe principal du bâtiment orienté NORD

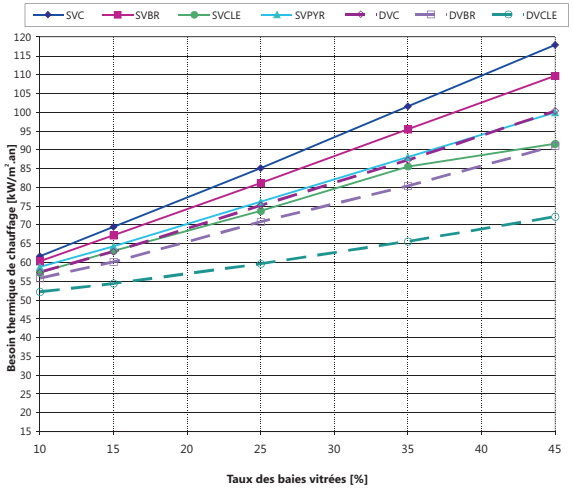


Fig. (b) : Axe principal du bâtiment orienté EST

SVC : Simple Vitrage Clair (configuration de base)
SVPYR : Simple Vitrage avec film réfléchissant
SVBR : Simple Vitrage Bronze
SVCLE : Simple Vitrage avec film faible émissivité
DVC : Double Vitrage Clair
DVBR : Double Vitrage Bronze
DVCLE : Double Vitrage avec film faible émissivité

Variation des besoins thermiques de chauffage d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du type et du taux des baies vitrées pour deux orientations différentes
Site de référence : TOZEUR

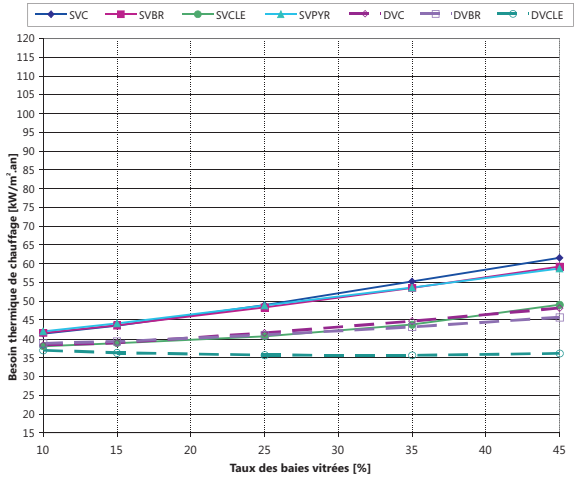


Fig. (a) : Axe principal du bâtiment orienté NORD

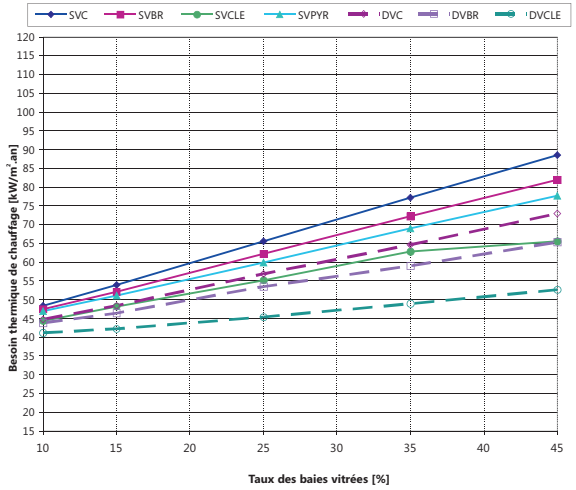


Fig. (b) : Axe principal du bâtiment orienté EST

SVC : Simple Vitrage Clair (configuration de base)
SVPYR : Simple Vitrage avec film réfléchissant
SVBR : Simple Vitrage Bronze
SVCLE : Simple Vitrage avec film faible émissivité
DVC : Double Vitrage Clair
DVBR : Double Vitrage Bronze
DVCLE : Double Vitrage avec film faible émissivité

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

Impacts sur les besoins thermiques de refroidissement du bâtiment

Les résultats révèlent que les besoins de refroidissement augmentent en fonction de l'augmentation du taux des baies vitrées, et ce pour tous les types de vitrage et les deux orientations principales du bâtiment qui ont été considérées. Cette augmentation suit une allure quasi linéaire en fonction du taux des baies vitrées. Les résultats suivants ont été observés en passant d'un taux des baies vitrées de 10 à 45% :

Dans le cas d'un simple vitrage clair [SVC], les besoins thermiques de refroidissement augmentent d'environ 75-100% pour un bâtiment orienté Nord/Sud, et d'environ 90-120% pour un bâtiment orienté Est/Ouest.

Dans le cas d'un double vitrage clair [DVC], l'augmentation des besoins de refroidissement est d'environ 70-95% pour un bâtiment orienté Nord/Sud, et d'environ 90-115% pour un bâtiment orienté Est/Ouest.

Dans le cas d'un simple vitrage couleur bronze [SVBR], les mêmes tendances sont observés avec une augmentation des besoins de refroidissement d'environ 65-80% pour un bâtiment orienté Nord/Sud, et d'environ 80-105% pour un bâtiment orienté Est/Ouest.

Dans le cas d'un simple vitrage muni d'un film à faible émissivité [SVCLE], l'augmentation des besoins de refroidissement est d'environ 55-80% pour un bâtiment orienté Nord/Sud, et d'environ 70-95% pour un bâtiment orienté Est/Ouest.

Dans le cas d'un simple vitrage muni d'un film réfléchissant [SVPYR], l'augmentation des besoins de refroidissement est d'environ 50-75% pour un bâtiment orienté Nord/Sud, et d'environ 70-90% pour un bâtiment orienté Est/Ouest.

Dans le cas d'un double vitrage couleur bronze [DVBR], l'augmentation des besoins de refroidissement est d'environ 50-70% pour un bâtiment orienté Nord/Sud, et d'environ 70-90% pour un bâtiment orienté Est/Ouest.

Dans le cas d'un double vitrage muni d'un film à faible émissivité [DVCLE], on constate aussi une augmentation des besoins de refroidissement d'environ 40-60% pour un bâtiment orienté Nord/Sud, et d'environ 65-75% pour un bâtiment orienté Est/Ouest.

Le tableau suivant donne un aperçu des résultats par site, pour les sept types de vitrage :

Impact du taux des baies vitrées sur les besoins de refroidissement du bâtiment considéré (Variation des besoins suite à un passage d'un taux des baies vitrées de 10% à un taux de 45%)

SITE	Orientation du bâtiment	Types de vitrage considérés						
		SVC	SVBR	SVCLE	SVPYR	DVC	DVBR	DVCLE
Tunis (ZT1)	Nord	+101%	+85%	+77%	+74%	+94%	+73%	+60%
	Est	+122%	+104%	+96%	+91%	+114%	+92%	+74%
Jendouba (ZT2)	Nord	+83%	+74%	+66%	+59%	+80%	+67%	+56%
	Est	+93%	+92%	+85%	+77%	+103%	+86%	+75%
Tozeur (ZT3)	Nord	+74%	+62%	+56%	+53%	+67%	+50%	+43%
	Est	+97%	+82%	+73%	+72%	+92%	+70%	+64%

En ce qui concerne l'incidence du type de vitrage sur les besoins thermiques de refroidissement :

Le simple vitrage clair [SVC], est le vitrage le moins performant, en particulier pour le cas du bâtiment orienté Est/Ouest, et ce pour les 3 sites considérés (Tunis, Jendouba et Tozeur).

Le double vitrage clair [DVC], permet une faible réduction des besoins thermiques de refroidissement d'environ 5% pour un taux des baies vitrées=10%, et d'environ 7-9% pour un taux des baies vitrées=45%, par rapport à un simple vitrage clair ayant le même taux des baies vitrées.

Le simple vitrage muni d'un film à faible émissivité [SVCLE], permet une réduction des besoins thermiques de refroidissement d'environ 2-7% pour un taux des baies vitrées=10%, et d'environ 8-17% pour un taux des baies vitrées=45%, par rapport à un simple vitrage clair ayant le même taux des baies vitrées.

Le simple vitrage couleur bronze [SVBR], permet une réduction des besoins thermiques de refroidissement d'environ 6-8% pour un taux des baies vitrées=10%, et d'environ 8-16% pour un taux des baies vitrées=45%, par rapport à un simple vitrage clair ayant le même taux des baies vitrées.

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

Pour le simple vitrage muni d'un film réfléchissant [SVPYR], la réduction des besoins thermiques de refroidissement est d'environ 9-14% pour un taux des baies vitrées=10%, et d'environ 20-26% pour un taux des baies vitrées=45%, par rapport à un simple vitrage clair ayant le même taux des baies vitrées.

Le double vitrage bronze [DVBR] permet une réduction des besoins thermiques de refroidissement d'environ 12-14% pour un taux des baies vitrées=10%, et d'environ 17-26% pour un taux des baies vitrées=45%, par rapport à un simple vitrage clair ayant le même taux des baies vitrées.

Le double vitrage muni d'un film à faible émissivité [DVCLE], permet une réduction des besoins thermiques de refroidissement d'environ 14-18% pour un taux des baies vitrées=10%, et d'environ 26-35% pour un taux des baies vitrées=45%, par rapport à un simple vitrage clair ayant le même taux des baies vitrées.

Le tableau suivant donne un aperçu des résultats par site, pour les 4 types de vitrage les plus performants en terme de réduction des besoins de refroidissement par rapport au simple vitrage clair :

Impact du type de vitrage sur les besoins de refroidissement du bâtiment considéré (Variation des besoins par rapport à un simple vitrage clair au même taux des baies vitrées; TBV)

SITE	Orientation du bâtiment	Types de vitrage considérés							
		SVCLE		DVC		DVBR		DVCLE	
		TBV= 0,10	TBV= 0,45	TBV=0,10	TBV=0,45	TBV=0,10	TBV= 0,45	TBV=0,10	TBV= 0,45
Tunis (ZT1)	Nord	- 8%	- 15%	- 12%	- 24%	- 12%	- 25%	- 14%	- 32%
	Est	- 8%	- 16%	- 14%	- 26%	- 14%	- 26%	- 16%	- 35%
Jendouba (ZT2)	Nord	- 7%	-11%	- 11%	- 23%	- 12%	- 20%	- 15%	- 28%
	Est	- 7%	- 8 %	- 13%	- 20%	- 14%	- 17%	- 18%	- 26%
Tozeur (ZT3)	Nord	- 6%	- 12%	- 9%	- 20%	- 12%	- 24%	- 15%	- 30%
	Est	- 7%	- 14%	- 11%	- 23%	- 13%	- 25%	- 18%	- 32%

En conclusion, on peut affirmer, qu'en règle générale (dans le climat tunisien) et dans le cas de bâtiments à usage de bureaux, l'augmentation du taux des baies vitrées engendre une augmentation substantielle des besoins thermiques de refroidissement, et ce même pour des vitrages qui sont thermiquement et/ou optiquement performant.
D'autres part, les vitrages les plus performants en terme de réduction des besoins thermiques de refroidissement sont ceux qui possèdent **les coefficients de transmission solaire** les plus faibles. Les faibles coefficients de déperdition thermique au niveau des vitrages n'ont pas une incidence aussi importante.

En conséquence, on peut noter que certains types de vitrages qui sont performants en terme de réduction des besoins thermiques de chauffage, ne le sont pas en terme de réduction des besoins thermiques de refroidissement. Et que par ailleurs, certains types de vitrage qui ne sont pas performants en terme de réduction des besoins thermiques de chauffage, sont assez performant quant il s'agit de réduction des besoins thermiques de refroidissement. Le vitrage qui s'avère le plus performant, aussi bien en terme de réduction des besoins thermiques de refroidissement que ceux relatifs au chauffage, est le double vitrage muni d'un film à faible émissivité [DVCLE], et dans une moindre mesure le double vitrage de couleur bronze [DVBR].

> *« Le vitrage qui s'avère le plus performant,...est le double vitrage muni d'un film à faible émissivité [DVCLE], »*

En fin, l'orientation des vitrages a une incidence encore plus importante sur les besoins thermiques de refroidissement d'un bâtiment, que sur ceux relatifs au chauffage. En effet, ces besoins sont nettement moins importants dans un bâtiment où le vitrage est orienté Nord/Sud que dans un bâtiment où le vitrage est orienté Est/Ouest. L'incidence de l'orientation du vitrage sur les besoins thermiques de refroidissement est singulièrement prononcée quand le taux des baies vitrées est élevé.
Le graphique suivant illustre l'impact du taux des baies vitrées et du type de vitrage sur les besoins de refroidissement pour les configurations de base qui ont fait l'objet de cette étude.

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

Variation des besoins thermiques de refroidissement d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du type et du taux des baies vitrées pour deux orientations différentes
Site de référence : TUNIS

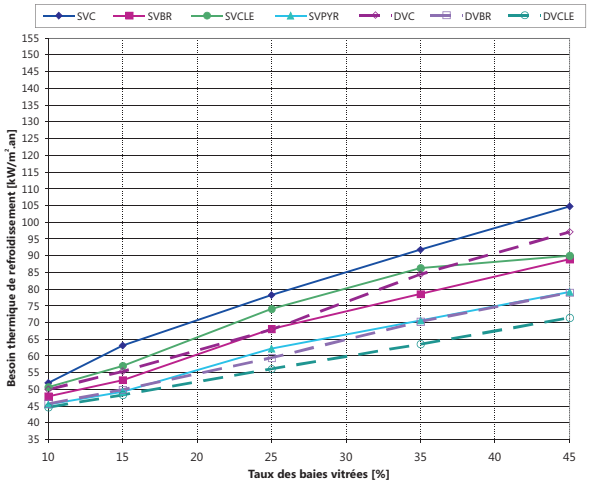


Fig. (a) :
Axe principal du bâtiment orienté NORD

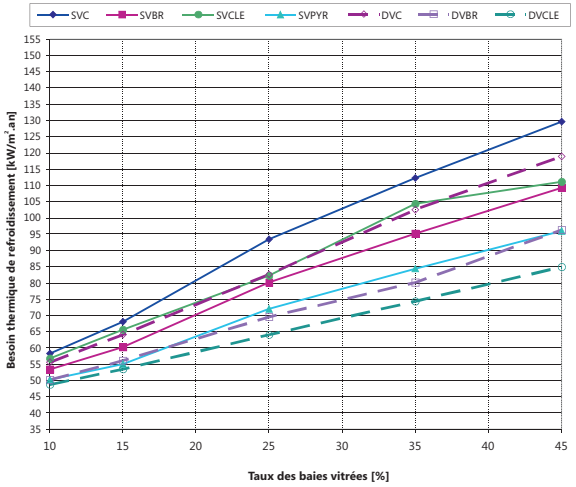


Fig. (b) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

SVC : Simple Vitrage Clair (configuration de base)
SVPYR : Simple Vitrage avec film réfléchissant
SVBR : Simple Vitrage Bronze
SVCLE : Simple Vitrage avec film faible émissivité
DVC : Double Vitrage Clair
DVBR : Double Vitrage Bronze
DVCLE : Double Vitrage avec film faible émissivité

Variation des besoins thermiques de refroidissement d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du type et du taux des baies vitrées pour deux orientations différentes
Site de référence : JENDOUBA

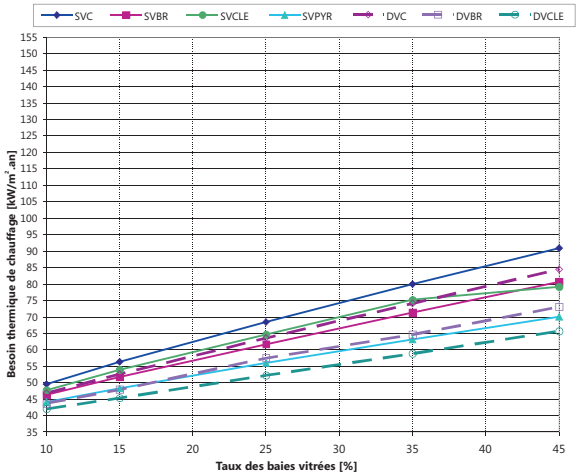


Fig. (a) :
Axe principal du bâtiment orienté NORD

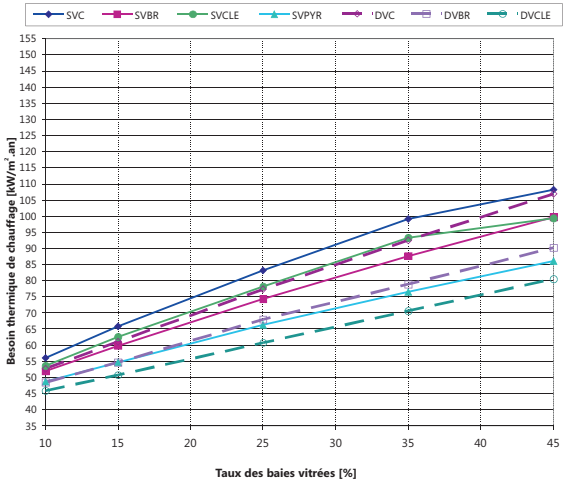


Fig. (b) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

SVC : Simple Vitrage Clair (configuration de base)
SVPYR : Simple Vitrage avec film réfléchissant
SVBR : Simple Vitrage Bronze
SVCLE : Simple Vitrage avec film faible émissivité
DVC : Double Vitrage Clair
DVBR : Double Vitrage Bronze
DVCLE : Double Vitrage avec film faible émissivité

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

Variation des besoins thermiques de refroidissement d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du type et du taux des baies vitrées pour deux orientations différentes Site de référence : TOZEUR

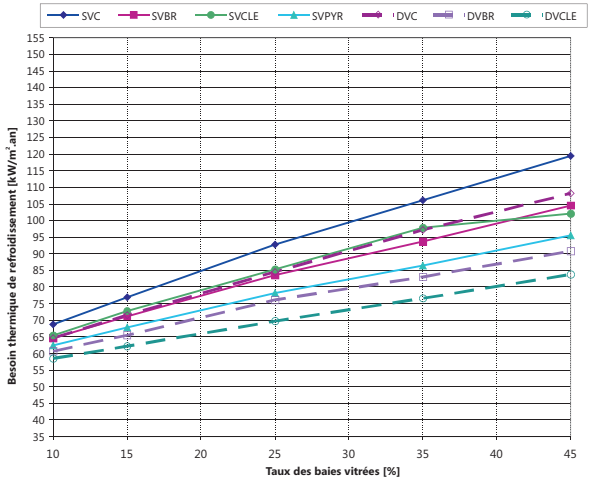


Fig. (a) : Axe principal du bâtiment orienté NORD

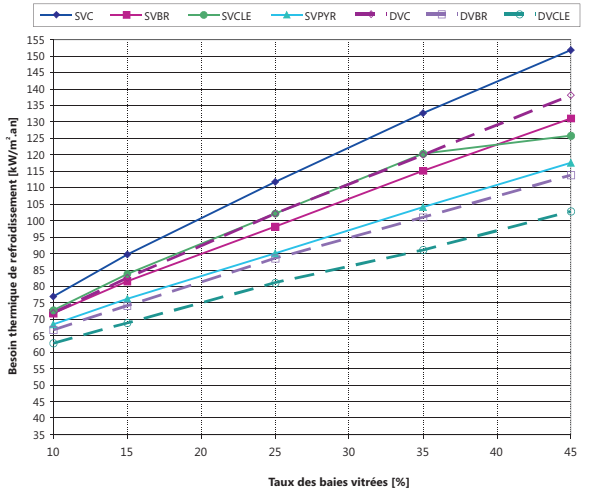


Fig. (b) : Axe principal du bâtiment orienté EST

SVC : Simple Vitrage Clair (configuration de base)
SVBR : Simple Vitrage Bronze
DVC : Double Vitrage Clair
SVPYR : Simple Vitrage avec film réfléchissant
SVCLE : Simple Vitrage avec film faible émissivité
DVBR : Double Vitrage Bronze
DVCLE : Double Vitrage avec film faible émissivité

Impacts sur la somme des besoins thermiques de chauffage et de refroidissement du bâtiment :

Comme il a été clairement observé que les besoins thermiques de chauffage & refroidissement augmentent en fonction de l'augmentation du taux des baies vitrées, la somme de ces deux besoins thermiques augmente aussi de la même manière, et ce pour tous les types de vitrage et les deux orientations principales du bâtiment qui ont été considérées. Cette augmentation suit aussi une allure quasi linéaire en fonction du taux des baies vitrées. Les remarques suivantes récapitulent les résultats qui ont été observés en passant d'un taux des baies vitrées de 10 à 45% :

Dans le cas d'un simple vitrage clair [SVC], la somme des besoins thermiques de chauffage & refroidissement augmentent d'environ 65-80% pour un bâtiment orienté Nord/Sud, et d'environ 90-105% pour un bâtiment orienté Est/Ouest.

Dans le cas d'un simple vitrage couleur bronze [SVBR], l'augmentation de la somme des besoins thermiques de chauffage & refroidissement est d'environ 55-70% pour un bâtiment orienté Nord/Sud, et d'environ 80-90% pour un bâtiment orienté Est/Ouest.

Dans le cas d'un double vitrage clair [DVC], l'augmentation de la somme des besoins thermiques de chauffage & refroidissement est d'environ 50-70% pour un bâtiment orienté Nord/Sud, et d'environ 80-90% pour un bâtiment orienté Est/Ouest.

Dans le cas d'un simple vitrage muni d'un film réfléchissant [SVPYR], l'augmentation de la somme des besoins thermiques de chauffage & refroidissement est d'environ 50-60% pour un bâtiment orienté Nord/Sud, et d'environ 70-80% pour un bâtiment orienté Est/Ouest.

Dans le cas d'un simple vitrage muni d'un film à faible émissivité [SVCLE], l'augmentation de la somme des besoins thermiques de chauffage & refroidissement est d'environ 45-60% pour un bâtiment orienté Nord/Sud, et d'environ 65-75% pour un bâtiment orienté Est/Ouest.

Dans le cas d'un double vitrage couleur bronze [DVBR], l'augmentation de la somme des besoins thermiques de chauffage & refroidissement est d'environ 40-50% pour un bâtiment orienté Nord/Sud, et d'environ 60-75% pour un bâtiment orienté Est/Ouest.

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

Dans le cas d'un double vitrage muni d'un film à faible émissivité [DVCLE], la somme des besoins thermiques de chauffage & refroidissement augmentent d'environ 25-35% pour un bâtiment orienté Nord/Sud, et d'environ 50-55% pour un bâtiment orienté Est/Ouest.

Le tableau suivant donne un aperçu des résultats par site, pour les sept types de vitrage :

Impact du taux des baies vitrées sur les besoins thermiques de chauffage & refroidissement du bâtiment considéré (Variation des besoins suite à un passage d'un taux des baies vitrées de 10% à un taux de 45%)

SITE	Orientation du bâtiment	Types de vitrage considérés						
		SVC	SVBR	SVCLE	SVPYR	DVC	DVBR	DVCLE
Tunis (ZT1)	Nord	+ 82%	+ 68%	+ 58%	+ 60%	+ 67%	+ 50%	+ 34%
	Est	+ 106%	+ 91%	+ 75%	+ 80%	+ 91%	+ 73%	+ 52%
Jendouba (ZT2)	Nord	+ 72%	+ 66%	+ 53%	+ 53%	+ 62%	+ 52%	+ 34%
	Est	+ 92%	+ 86%	+ 72%	+ 73%	+88%	+ 74%	+ 56%
Tozeur (ZT3)	Nord	+ 64%	+ 54%	+ 46%	+ 48%	+ 52%	+ 37%	+ 26%
	Est	+ 92%	+ 78%	+ 63%	+ 69%	+ 81%	+ 62%	+ 50%

En ce qui concerne l'incidence du type de vitrage sur la somme des besoins thermiques de chauffage & refroidissement :

Le simple vitrage clair [SVC] est le vitrage le moins performant, en particulier pour le cas du bâtiment orienté Est/Ouest, et ce pour les 3 sites considérés (Tunis, Jendouba et Tozeur).

Par rapport à un simple vitrage clair, le simple vitrage couleur bronze [SVBR] permet une réduction de la somme des besoins thermiques de chauffage & refroidissement d'environ 4-6% pour un taux des baies vitrées=10%, et d'environ 7-12% pour un taux des baies vitrées=45%.

Par rapport à un simple vitrage clair, le double vitrage clair [DVC] permet une réduction de la somme des besoins thermiques de chauffage & refroidissement d'environ 5-7% pour un taux des baies vitrées=10%, et d'environ 8-14% pour un taux des baies vitrées=45%.

Par rapport à un simple vitrage clair, le simple vitrage muni d'un film à faible émissivité [SVCLE] permet une réduction la somme des besoins thermiques de chauffage & refroidissement d'environ 5-7% pour un taux des baies vitrées=10%, et d'environ 16-20% pour un taux des baies vitrées=45%.

Le double vitrage muni d'un film à faible émissivité [DVCLE] permet une réduction de la somme des besoins thermiques de chauffage & refroidissement d'environ 13-17% pour un taux des baies vitrées=10%, et d'environ 32-37% pour un taux des baies vitrées=45%, par rapport à un simple vitrage clair ayant le même taux des baies vitrées.

Le tableau suivant donne un aperçu des résultats par site, pour les 4 types de vitrage les plus performants en terme de réduction des besoins de chauffage & refroidissement par rapport au simple vitrage clair :

Impact du type de vitrage sur les besoins thermiques de chauffage & refroidissement du bâtiment considéré (Variation des besoins par rapport à un simple vitrage clair au même taux des baies vitrées; TBV)

SITE	Orientation du bâtiment	Types de vitrage considérés							
		SVCLE		DVC		DVBR		DVCLE	
		TBV= 0,10	TBV= 0,45	TBV= 0,10	TBV= 0,45	TBV= 0,10	TBV= 0,45	TBV= 0,10	TBV= 0,45
Tunis (ZT1)	Nord	- 5%	- 17%	- 7%	- 18%	- 9%	- 25%	- 12%	- 35%
	Est	- 5%	- 19%	- 9%	- 20%	- 12%	- 26%	- 15%	- 37%
Jendouba (ZT2)	Nord	- 5%	- 16%	- 6%	- 16%	- 10%	- 20%	- 13%	- 33%
	Est	- 6%	- 16%	- 9%	-18 %	- 11%	- 20%	- 17%	- 32%
Tozeur (ZT3)	Nord	- 6%	- 16%	- 5%	- 15%	- 10%	- 25%	- 13%	- 34%
	Est	-7%	- 20%	- 8%	- 19%	- 12%	- 25%	- 17%	- 35%

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

Au terme de cet examen des résultats issus des simulations des configurations de base, il est tout à fait clair, qu'en règle générale (dans le climat tunisien) et dans le cas de bâtiments à usage de bureaux, l'augmentation du taux des baies vitrées engendre une augmentation importante de la somme des besoins thermiques de chauffage & refroidissement, et ce même pour des vitrages qui sont thermiquement et/ou optiquement performants.

D'autres part,

Les vitrages les plus performants en terme de réduction de la somme des besoins thermiques de chauffage et de refroidissement sont ceux qui offrent une association des performances optiques (coefficients de transmission solaire faibles) avec des performances thermiques convenables (faibles coefficients de déperdition thermique) : [DVBR] et [DVCLE]. Pour les autres types de vitrage, les performances optiques sont plus importantes en terme de réduction de la somme des besoins thermiques de chauffage et de refroidissement [SVPYR] que les performances thermiques [DVC].

Le double vitrage clair muni d'un film à faible émissivité [DVCLE] est de loin le vitrage le plus performant, aussi bien en terme de réduction des besoins thermiques de refroidissement que ceux relatifs au chauffage. Ce type de vitrage s'avère être très performant aussi en terme d'éclairage naturel (bonne transmission de la lumière du jour).

Il est aussi confirmé que l'orientation des vitrages a une incidence primordiale sur la somme des besoins thermiques de chauffage et de refroidissement d'un bâtiment. En effet, ces besoins sont nettement moins importants dans un bâtiment où le vitrage est orienté Nord/Sud que dans un bâtiment où le vitrage est orienté Est/Ouest. L'incidence de l'orientation du vitrage sur ces besoins thermiques est singulièrement prononcée quand le taux des baies vitrées est élevé.

Les graphiques suivants illustrent l'impact du taux des baies vitrées et du type de vitrage sur la somme des besoins de chauffage et de refroidissement pour les configurations de base qui ont fait l'objet de cette étude.

Variation des besoins thermiques de chauffage et de refroidissement d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du type et du taux des baies vitrées pour deux orientations différentes
Site de référence : TUNIS

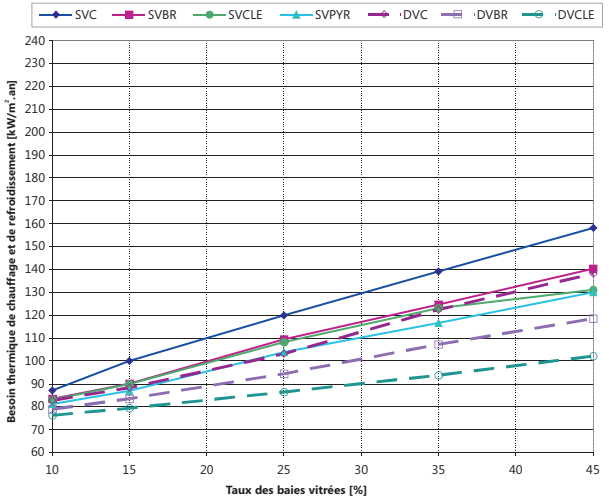


Fig. (a) : Axe principal du bâtiment orienté NORD

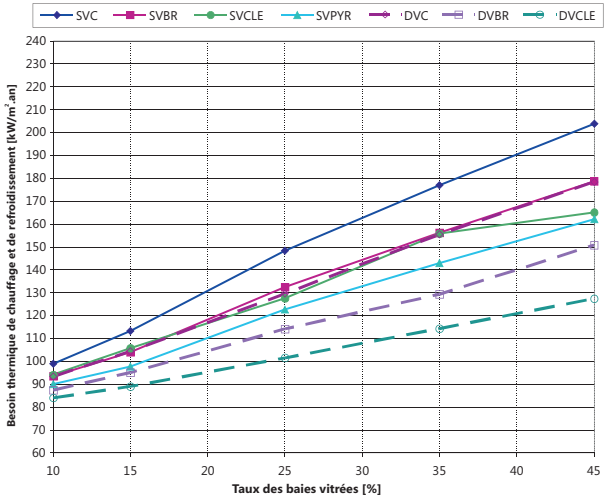


Fig.(b) : Axe principal du bâtiment orienté EST

SVC : Simple Vitrage Clair (configuration de base)
SVBR : Simple Vitrage Bronze
DVC : Double Vitrage Clair
SVPYR : Simple Vitrage avec film réfléchissant
SVCLE : Simple Vitrage avec film faible émissivité
DVBR : Double Vitrage Bronze
DVCLE : Double Vitrage avec film faible émissivité

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

Variation des besoins thermiques de chauffage et de refroidissement d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du type et du taux des baies vitrées pour deux orientations différentes
Site de référence : JENDOUBA

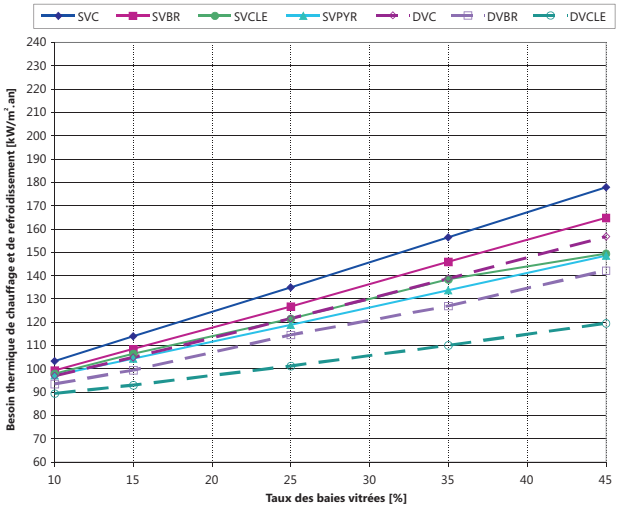


Fig. (a) : Axe principal du bâtiment orienté NORD

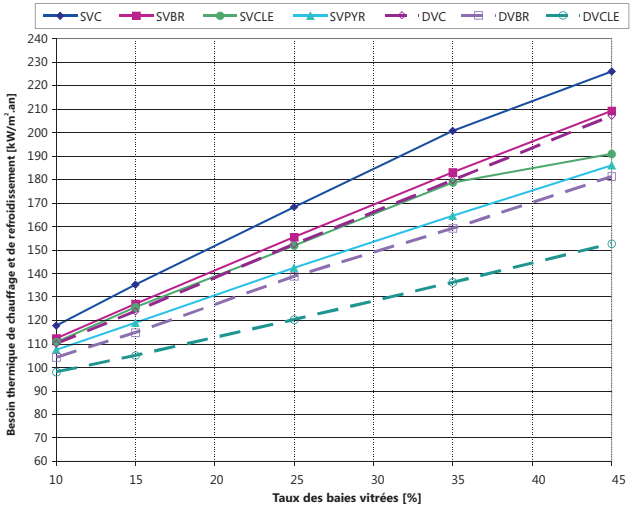


Fig. (b) : Axe principal du bâtiment orienté EST

SVC : Simple Vitrage Clair (configuration de base)
SVPYR : Simple Vitrage avec film réfléchissant
SVBR : Simple Vitrage Bronze
SVCLE : Simple Vitrage avec film faible émissivité
DVC : Double Vitrage Clair
DVBR : Double Vitrage Bronze
DVCLE : Double Vitrage avec film faible émissivité

Variation des besoins thermiques de chauffage et de refroidissement d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du type et du taux des baies vitrées pour deux orientations différentes
Site de référence : TOZEUR

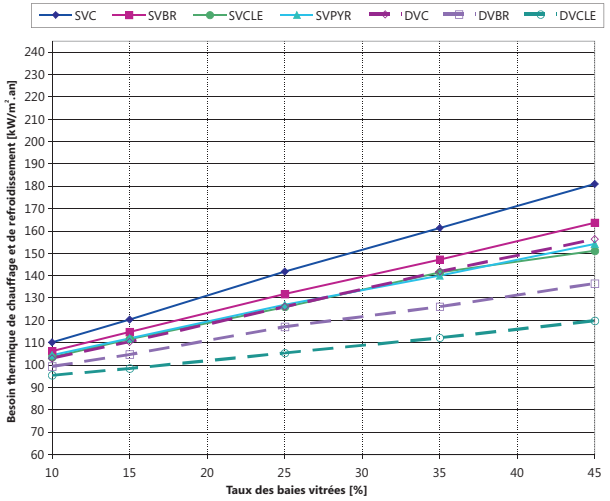


Fig. (a) : Axe principal du bâtiment orienté NORD

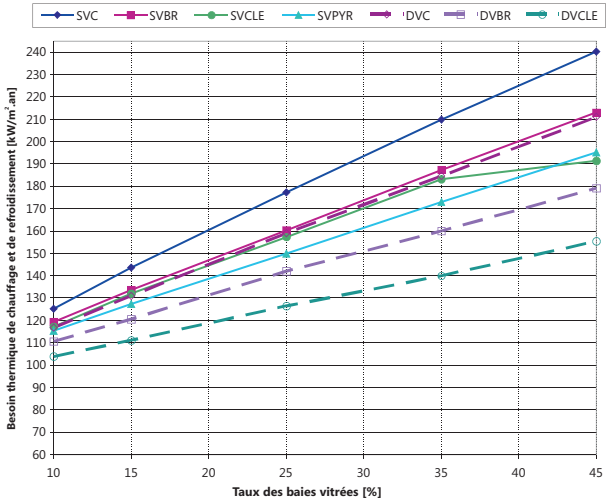


Fig. (b) : Axe principal du bâtiment orienté EST

SVC : Simple Vitrage Clair (configuration de base)
SVPYR : Simple Vitrage avec film réfléchissant
SVBR : Simple Vitrage Bronze
SVCLE : Simple Vitrage avec film faible émissivité
DVC : Double Vitrage Clair
DVBR : Double Vitrage Bronze
DVCLE : Double Vitrage avec film faible émissivité

B.2.3. Impacts de l'isolation thermique des parois opaques sur les besoins thermiques des configurations de base :

Dans cette partie, l'incidence de l'isolation thermique des parois opaques (murs extérieurs et toitures exposées) sur les besoins thermiques des configurations de base est présentée. Cette incidence est exposée aussi bien pour les besoins thermiques de chauffage, les besoins thermiques de refroidissement ainsi que la sommes des ces deux besoins. L'examen des résultats issus des simulations des différentes configurations de base, ainsi que deux autres types de vitrage, qui n'ont subit qu'un changement au niveau de l'isolation thermique des parois opaques, a permis de dresser les constatations suivantes :

Impacts sur les besoins thermiques de chauffage du bâtiment :

Les résultats révèlent que les besoins thermiques de chauffage diminuent en fonction de l'augmentation de l'isolation thermique des parois extérieurs, et ce pour tous les types de vitrage, et les deux orientations principales du bâtiment qui ont été considérées. Toutefois, l'impact de l'isolation thermique de la toiture est plus important que celui des murs extérieurs. Ceci est essentiellement du au faits suivants :

Le coefficient U de la toiture dans la configuration de base, qui correspond aux pratiques courantes de construction en Tunisie, est assez élevé (2,20 W/m².K), et que les niveaux d'isolation thermique correspondants aux configurations améliorées permettent de réduire ce coefficient d'environ 67% à 77%.

Le coefficient U du mur extérieur dans la configuration de base (double cloison), qui correspond aux pratiques courantes de construction en Tunisie, n'est pas très élevé (1,11 W/m².K), et que les niveaux d'isolation thermique correspondants aux configurations améliorées ne permettent de réduire ce coefficient que d'environ 22% à 49% (le recours à des niveaux d'isolation thermiques plus élevés pour les murs extérieurs des bâtiments à usage de bureaux en Tunisie n'est pas approprié comme le montrera l'analyse présentée ci-après).

Par ailleurs, l'impact relatif de l'isolation thermique est d'autant plus important que les taux des baies vitrées sont plus faibles.
Les résultats suivants ont été observés pour ***l'isolation thermique des murs extérieurs :***

Pour la configuration de base correspondant à un simple vitrage clair [SVC], les besoins thermiques de chauffage accusent une réduction d'environ 1-3% (taux des baies vitrées=45%) à 6-8% (taux des baies vitrées=10%), quand le coefficient de déperdition thermique du mur extérieur ; U, passe de 1,11 (MI0) à 0,80 W/m².K (MI2). Cette réduction est d'environ 2-5% (taux des baies vitrées=45%) à 10-14% (taux des baies vitrées=10%), quand le coefficient de déperdition thermique du mur extérieur ; U, passe de 1,11 (MI0) à 0,60 W/m².K (MI4)

Pour la configuration de base où le simple vitrage clair [SVC] a été remplacé par un simple vitrage couleur bronze [SVBR], les résultats sont assez comparables, et les besoins thermiques de chauffage accusent une réduction d'environ 1-3% (taux des baies vitrées=45%) à 6-8% (taux des baies vitrées=10%), quand le coefficient de déperdition thermique du mur extérieur ; U, passe de 1,11 (MI0) à 0,80 W/m².K (MI2). Cette réduction est d'environ 2-4% (taux des baies vitrées=45%) à 10-14% (taux des baies vitrées=10%), quand le coefficient de déperdition thermique du mur extérieur ; U, passe de 1,11 (MI0) à 0,60 W/m².K (MI4).

Pour la configuration de base où le simple vitrage clair [SVC] a été remplacé par un double vitrage muni d'un film à faible émissivité [DVCLE], on constate une meilleure performance relative avec une réduction des besoins thermiques de chauffage d'environ 3-6% (taux des baies vitrées=45%) à 7-10% (taux des baies vitrées=10%), quand le coefficient de déperdition thermique du mur extérieur ; U, passe de 1,11 W/m².K (MI0) à 0,80 W/m².K (MI2). Cette réduction est d'environ 5-10% (taux des baies vitrées=45%) à 13-17% (taux des baies vitrées=10%), quand le coefficient de déperdition thermique du mur extérieur ; U, passe de 1,11W/m².K (MI0) à 0,60 W/m².K (MI4).

Le tableau suivant donne un aperçu des résultats par site, pour les 3 niveaux d'isolation thermique de mur considérés, en termes de réduction des besoins de chauffage pour la configuration de base (simple vitrage clair) :

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

Impact du niveau d'isolation thermique du mur sur les besoins thermiques de chauffage du bâtiment considéré (configuration de base ; simple vitrage clair avec taux des baies vitrées TBV)

SITE	Orientation du bâtiment	Niveaux d'isolation thermique considérés (U_{Base} = 1,11 W/m².K)					
		MIP (U=0,87 W/m².K)		MI2 (U=0,80 W/m².K)		MI4 (U=0,57 W/m².K)	
		TBV= 0,10	TBV= 0,45	TBV=0,10	TBV=0,45	TBV=0,10	TBV= 0,45
Tunis (ZT1)	Nord	- 7%	- 2%	- 8%	- 2%	- 14%	- 4%
	Est	- 6%	- 2%	- 7%	- 2%	- 13%	- 4%
Jendouba (ZT2)	Nord	- 5%	- 1%	- 6%	- 1%	- 10%	- 2%
	Est	- 5%	- 1%	- 6%	- 1%	- 10%	- 2%
Tozeur (ZT3)	Nord	- 6%	- 2%	- 8%	- 3%	- 14%	- 5%
	Est	- 5%	- 2%	- 7%	- 2%	- 13%	- 3%

En ce qui concerne l'incidence de l'isolation thermique des toitures exposées sur les besoins thermiques de chauffage, les résultats suivants ont été constatés :

Pour la configuration de base correspondant à un simple vitrage clair [SVC], les besoins thermiques de chauffage accusent une réduction d'environ 5-10% (taux des baies vitrées=45%) à 12-19% (taux des baies vitrées=10%), quand le coefficient de déperdition thermique de la toiture exposée ; U, passe de 2,20 (TI0) à 0,72/0,69 W/m².K (TIP/TI4). Cette réduction est d'environ 6-12% (taux des baies vitrées=45%) à 15-21% (taux des baies vitrées=10%), quand le coefficient de déperdition thermique de la toiture exposée ; U, passe de 2,20(TI0) à 0,51W/m².K (TI6).

Pour la configuration de base où le simple vitrage clair [SVC] a été remplacé par un simple vitrage couleur bronze [SVBR], les besoins thermiques de chauffage accusent une réduction d'environ 5-10% (taux des baies vitrées=45%) à 13-19% taux des baies vitrées=10%), quand le coefficient de déperdition thermique de la toiture exposée ; U, passe de 2,20 (TI0) à 0,72/0,69 W/m².K (TIP/TI4). Cette réduction est d'environ 6-12% (taux des baies vitrées=45%) à 15-21% (taux des baies vitrées=10%), quand le coefficient de déperdition thermique de la toiture exposée ; U, passe de 2,20 (TI0) à 0,51 W/m².K (TI6).

Pour la configuration de base où le simple vitrage clair [SVC] a été remplacé par un double vitrage muni d'un film à faible émissivité [DVCLE], on constate une meilleure performance relative avec une réduction des besoins thermiques de chauffage d'environ 12-20% (taux des baies vitrées=45%) à 17-22% (taux des baies vitrées=10%), quand le coefficient de déperdition thermique de la toiture exposée ; U, passe de 2,20 (TI0) à 0,72/0,69 W/m².K (TIP/TI4). Cette réduction est d'environ 14-23% (taux des baies vitrées=45%) à 20-25% (taux des baies vitrées=10%), quand le coefficient de déperdition thermique de la toiture exposée ; U, passe de 2,20 (TI0) à 0,51 W/m².K(TI6).

Le tableau suivant donne un aperçu des résultats par site, pour les 3 niveaux d'isolation thermique de toiture considérés, en terme de réduction des besoins de chauffage pour la configuration de base (simple vitrage clair) :

Impact du niveau d'isolation thermique de la toiture sur les besoins thermiques de chauffage du bâtiment considéré (configuration de base ; simple vitrage clair avec taux des baies vitrées TBV)

SITE	Orientation du bâtiment	Niveaux d'isolation thermique considérés (U_{Base} = 2,20 W/m².K)					
		TIP (U=0,72 W/m².K)		TI4(U=0,69 W/m².K)		TI6(U=0,51 W/m².K)	
		TBV= 0,10	TBV= 0,45	TBV=0,10	TBV=0,45	TBV=0,10	TBV= 0,45
Tunis (ZT1)	Nord	- 18%	- 10%	- 19%	- 10%	- 21%	- 12%
	Est	- 15%	- 8%	- 16%	- 8%	- 18%	- 9%
Jendouba (ZT2)	Nord	- 16%	- 6%	- 17%	- 7%	- 19%	- 8%
	Est	- 12%	- 5%	- 13%	- 5%	- 15%	- 6%
Tozeur (ZT3)	Nord	- 17%	- 10%	- 18%	- 10%	- 21%	- 11%
	Est	- 14%	- 7%	- 15%	- 7%	- 17%	- 8%

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

En conclusion, on peut affirmer, qu'en règle générale (dans le climat tunisien) et dans le cas de bâtiments à usage de bureaux, l'augmentation de l'isolation thermique des parois opaques engendre une réduction relativement modérée des besoins thermiques de chauffage du bâtiment. Cette réduction est d'autant plus importante que le taux de vitrage est plus faible.

Pour un bâtiment de 3 niveaux (R+2), l'impact de l'isolation thermique de la toiture exposée (une moyenne des réductions des besoins thermiques de chauffage du bâtiment de 12 à 18%) est en général deux à trois fois plus important que celui de l'isolation thermique des murs extérieurs (une moyenne des réductions des besoins thermiques de chauffage du bâtiment de 4 à 7%). Et ce, malgré le fait que l'isolation de la toiture n'intéresse qu'un seul niveau du bâtiment et que celui des murs extérieurs tous les niveaux. Il est à noter que dans la présente étude, la surface opaque des murs extérieurs, rapportée à la surface conditionnée, représente 40% [TBV=45%] à 80% [TBV=45%] de cette surface, alors que celui de la toiture ne représente que 33% de celle-ci.

Il est aussi intéressant de noter que la solution consistant à remplacer la forme de pente usuelle d'une toiture par une forme de pente légère; [TIP] (béton cellulaire, béton de polystyrène, etc.), permet de réaliser une performance comparable à une isolation thermique classique. Cette solution se distingue par une facilité de mise en œuvre et un surcoût très modéré.

Les graphiques suivant illustrent l'impact de l'isolation thermique des parois opaques sur les besoins thermiques de chauffage pour les configurations de base qui ont fait l'objet de cette étude, et ce pour le site de Tunis. Les graphiques relatifs aux sites de Jendouba et Tozeur sont fournis en annexe.

Variation des besoins thermiques de chauffage d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du niveau d'isolation thermique des parois opaques et taux de baies vitrées (Vitrage type SVC: Simple vitrage clair), pour deux orientations différentes
Site de référence : TUNIS

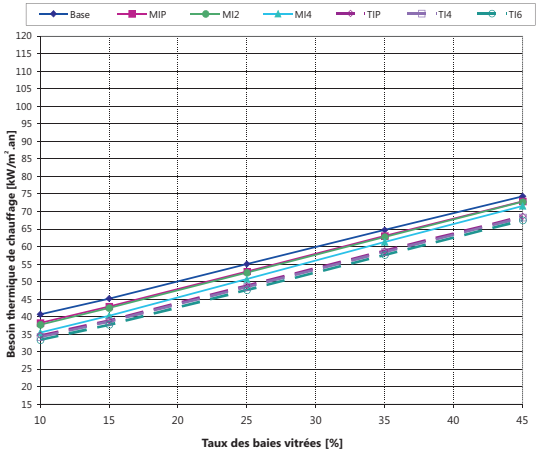


Fig. (a) : Axe principal du bâtiment orienté NORD

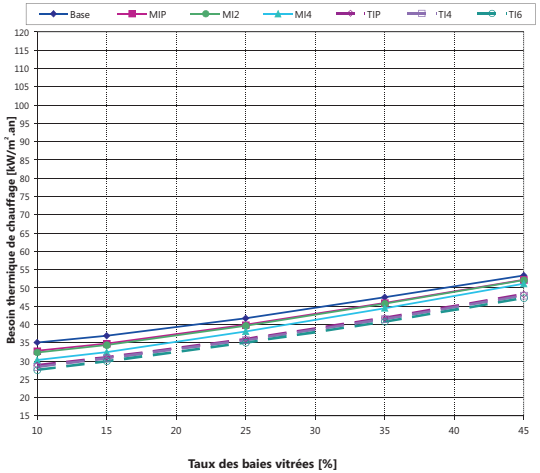


Fig. (b) : Axe principal du bâtiment orienté EST

Base : Configuration de base ; Murs ext. en double cloison de 35cm (DC35) & SVC : Simple Vitrage Clair/ Toiture dalle à hourdis 16+5 & frm de pente

MIP : Base+ 4cm béton de polystyrène ds vide d'air DC35
MI2 : Base+ 2cm plaque polystyrène ds vide d'air DC35
MI4 : Base+ 4cm plaque polystyrène ds vide d'air DC35

TIP : Base+ 10cm béton de polystyrène frm de pente
TI4 : Base+ 4 cm plaque polystyrène
TI6 : Base+ 6 cm plaque polystyrène

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

Variation des besoins thermiques de chauffage d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du niveau d'isolation thermique des parois opaques et du taux de baies vitrées (Vitrage type SVBR : Simple Vitrage Bronze), pour deux orientations différentes
Site de référence : TUNIS

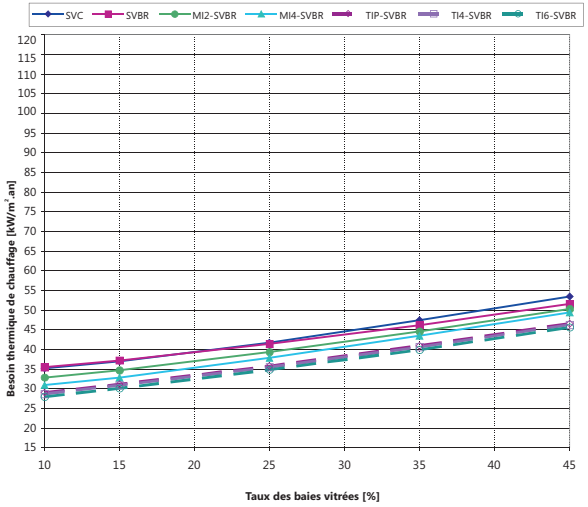


Fig. (a) :
Axe principal du bâtiment orienté NORD

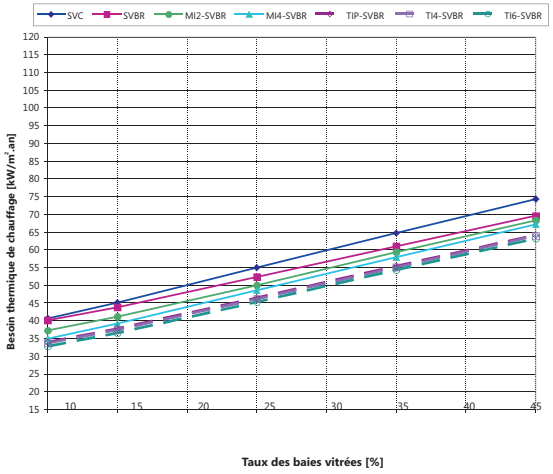


Fig. (b) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

SVC : Simple Vitrage Clair (configuration de base)
SVBR : Simple Vitrage Bronze (Idem configuration de base, mais avec SVBR au lieu de SVC)
MI2-SVBR : Combinaison de SVBR & MI2
MI4-SVBR : Combinaison de SVBR & Mi4
TIP-SVBR : Combinaison de SVBR & TIP
TI4-SVBR : Combinaison de SVBR & TI4
TI6-SVBR : Combinaison de SVBR & TI6

Variation des besoins de chauffage d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du niveau d'isolation thermique des parois opaques et taux des baies vitrées (Vitrage type DVCLE : double vitrage clair à simple emissivité), pour deux orientations différentes
Site de référence: TUNIS

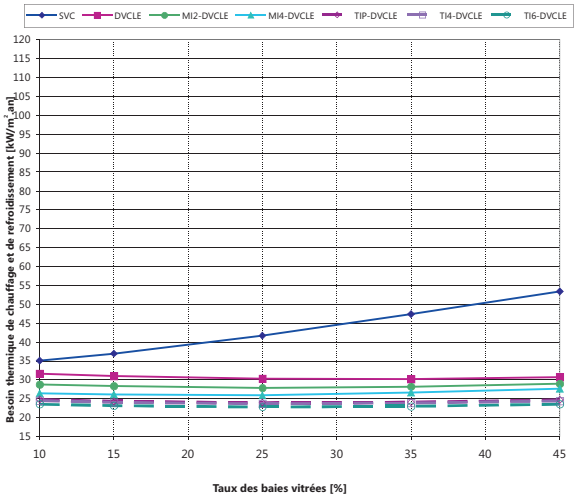


Fig. (a) :
Axe principal du bâtiment orienté NORD

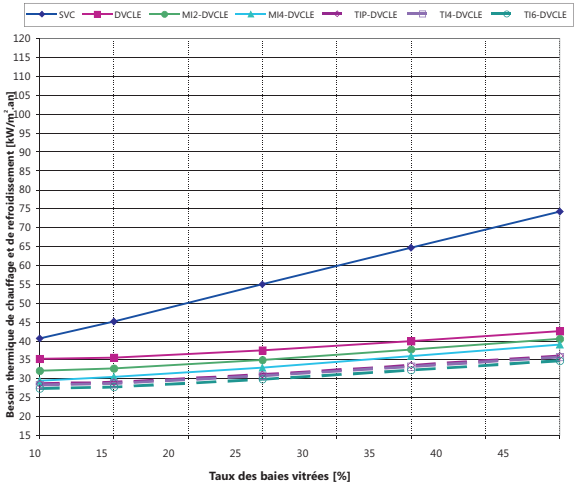


Fig. (b) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

SVC : Simple Vitrage Clair (configuration de base)
SVBR : Simple Vitrage Bronze (Idem configuration de base, mais avec SVBR au lieu de SVC)
MI2-SVBR : Combinaison de SVBR & MI2
MI4-SVBR : Combinaison de SVBR & Mi4
TIP-SVBR : Combinaison de SVBR & TIP
TI4-SVBR : Combinaison de SVBR & TI4
TI6-SVBR : Combinaison de SVBR & TI6

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

Impacts sur les besoins thermiques de refroidissement du bâtiment :

Les résultats révèlent que les besoins thermiques de refroidissement ont tendance à s'accroître en fonction de l'augmentation de l'isolation thermique des murs extérieurs, et ce pour tous les types de vitrage, et les deux orientations principales du bâtiment qui ont été considérées. Toutefois, l'impact de l'isolation thermique de la toiture présente deux cas de figures en fonction du type et taux des baies vitrées. L'impact est positif, ou neutre, jusqu'à un taux des baies vitrées autour de 15% à 25%, occasionnant une légère réduction des besoins thermiques de refroidissement, mais l'impact est généralement négatif ou neutre au delà de ces taux des baies vitrées. Les résultats suivants ont été observés pour ***l'isolation thermique des murs extérieurs :***

Pour la configuration de base correspondant à un simple vitrage clair [SVC], les besoins thermiques de refroidissement accusent, en général, une augmentation d'environ 1 à 6%, quand le coefficient de déperdition thermique du mur extérieur ; U, est amélioré, passant de 1,11 (MI0) à 0,60-0,80 W/m²K (MI2/MI4). Dans le seul site de Tozeur, un impact nul (MIP/MI2) ou une réduction de 1% (MI4) ont été observé pour de faibles taux des baies vitrées (10-15%).

Pour la configuration de base où le simple vitrage clair [SVC] a été remplacé par un simple vitrage couleur bronze [SVBR], les résultats sont assez comparables pour Tunis et Jendouba, où les besoins thermiques de refroidissement accusent une augmentation d'environ 1 à 6%, quand le coefficient de déperdition thermique du mur extérieur ; U, est amélioré, passant de 1,11 (MI0) à 0,60-0,80 W/m²K (MI2/MI4). Toutefois, pour le cas de faibles taux des baies vitrées à Tozeur (10-15%), on constate une réduction des besoins de refroidissement de 1-3%.

Pour la configuration de base où le simple vitrage clair [SVC] a été remplacé par un double vitrage muni d'un film à faible émissivité [DVCLE], les mêmes tendances sont confirmées avec une augmentation des besoins thermiques de refroidissement d'environ 1 à 9%, quand le coefficient de déperdition thermique du mur extérieur ; U, est amélioré, passant de 1,11 (MI0) à 0,60-0,80 W/m²K (MI2/MI4). Toutefois, pour le cas de faibles taux des baies vitrées à Tozeur (10-15%), on constate une réduction des besoins de refroidissement de 2-5%.

Ces résultats indiquent que quand les apports thermiques à travers les parois opaques sont relativement importants (ensoleillement important et températures extérieures élevées ; cas de Tozeur), une isolation thermique de ces parois contribue à la réduction des besoins thermiques de refroidissement.

Le tableau suivant donne un aperçu des résultats par site, pour les 3 niveaux d'isolation thermique de mur considérés, en termes de taux de variation des besoins thermiques de refroidissement pour la configuration de base (simple vitrage clair):

Impact du niveau d'isolation thermique du mur sur les besoins thermiques de refroidissement du bâtiment considéré (configuration de base ; simple vitrage clair avec taux des baies vitrées TBV)

SITE	Orientation du bâtiment	Niveaux d'isolation thermique considérés (U_{Base} = 1,11 W/m².K)					
		TIP (U=0,87 W/m².K)		TI4(U=0,80 W/m².K)		TI6(U=0,57 W/m².K)	
		TBV= 0,10	TBV= 0,45	TBV= 0,10	TBV= 0,45	TBV= 0,10	TBV= 0,45
Tunis (ZT1)	Nord	+ 3%	+1%	+ 3%	+ 2%	+ 6%	+ 3%
	Est	+ 2%	+ 1%	+ 3%	+ 1%	+ 5%	+ 2%
Jendouba (ZT2)	Nord	+ 2%	+ 1%	+ 2%	+ 2%	+ 4%	+ 3%
	Est	+ 1%	+ 2%	+ 2%	+ 1%	+ 3%	+ 2%
Tozeur (ZT3)	Nord	0%	+ 1%	0%	+ 1%	- 1%	+ 1%
	Est	0%	0%	0%	0%	- 1%	+ 1%

En ce qui concerne l'incidence de l'isolation thermique des toitures exposées sur les besoins thermiques de refroidissement, les résultats suivants ont été constatés :

Pour la configuration de base correspondant à un simple vitrage clair [SVC], les besoins thermiques de refroidissement accusent une réduction d'environ 1 à 9% pour un taux des baies vitrées= 10%, et une très légère augmentation (Tunis) ou réduction (de 1 à 2%) ou quasiment pas de changement au-delà de ce taux des baies vitrées, quand le coefficient de déperdition thermique de la toiture exposée ; U, passe de 2,20 (TI0) à 0,72 / 0,69 ou 0,51 W/m².K (TIP/TI4/TI6). Il est à noter que l'isolation thermiques de toiture la plus faible est quasiment aussi performante que l'isolation thermique la plus importante. Les performances les plus faibles étant enregistrées pour le bâtiment orienté Est/Ouest.

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

Pour la configuration de base où le simple vitrage clair [SVC] a été remplacé par un simple vitrage couleur bronze [SVBR], les besoins thermiques de refroidissement accusent une réduction d'environ 3-10% pour un taux des baies vitrées = 10% à 15%, et quasiment pas de changement au-delà de ces taux des baies vitrées, quand le coefficient de déperdition thermique de la toiture exposée ; U, passe de 2,20 (TI0) à 0,72 / 0,69 ou 0,51 W/m².K (TIP/TI4/TI6).

Pour la configuration de base où le simple vitrage clair [SVC] a été remplacé par un double vitrage muni d'un filme à faible émissivité [DVCLE], les besoins thermiques de refroidissement accusent une réduction d'environ 5-12% pour un taux des baies vitrées = 10% à 25%, et soit une légère réduction ou augmentation (de l'ordre de 1-4%) au-delà taux des baies vitrées, quand le coefficient de déperdition thermique de la toiture exposée ; U, passe de 2,20 (TI0) à 0,72 / 0,69 ou 0,51 W/m².K (TIP/TI4/TI6).

Le tableau suivant donne un aperçu des résultats par site, pour les 3 niveaux d'isolation thermique de toiture considérés, en termes de taux de variation des besoins thermiques de refroidissement pour la configuration de base (simple vitrage clair):

Impact du niveau d'isolation thermique de la toiture sur les besoins thermiques de refroidissement du bâtiment considéré (configuration de base ; simple vitrage clair avec taux des baies vitrées TBV)

SITE	Orientation du bâtiment	Niveaux d'isolation thermique considérés (U_{Base} = 2,20W/m².K)					
		TIP (U=0,72 W/m².K)		TI4(U=0,69 W/m².K)		TI6(U=0,51W/m².K)	
		TBV= 0,10	TBV= 0,45	TBV=0,10	TBV=0,45	TBV=0,10	TBV= 0,45
Tunis (ZT1)	Nord	- 4%	0%	- 3%	+ 1%	- 4%	+ 1%
	Est	- 3%	+ 1%	- 2%	+ 1%	- 1%	+ 1%
Jendouba (ZT2)	Nord	- 9%	- 3%	- 8%	- 3%	- 9%	- 3%
	Est	- 6%	0%	- 5%	0%	- 6%	0%
Tozeur (ZT3)	Nord	- 8%	- 1%	- 8%	- 1%	- 8%	- 1%
	Est	- 5%	0%	- 5%	0%	- 6%	- 1%

En conclusion, on peut affirmer, que dans le climat tunisien, et dans le cas de bâtiments à usage de bureaux,

L'augmentation de l'isolation thermique des parois opaques n'a pas une incidence systématique sur les besoins thermiques de refroidissement. En effet, l'isolation thermique des murs extérieurs a tendance à augmenter les besoins thermiques de refroidissement du bâtiment, alors que l'isolation thermique de la toiture peut avoir deux incidences tout à fait contradictoires; une diminution des besoins thermiques dans la plus part des situations, mais une incidence nulle et même une légère augmentation dans d'autres situations.
Par ailleurs, et au niveau de la toiture, il a été constaté que l'isolation thermique la plus faible est en général aussi performante que l'isolation thermique la plus élevée.

Afin de mieux comprendre ce phénomène, il y a lieu de rappeler d'une part que les résultats présentés sont des résultats globaux pour tout le bâtiment, qui sont agrégés à partir des résultats individuels de chacune des zones constituant l'édifice, et d'autre part que les résultats concernant la toiture dépendent essentiellement du type et taux des baies vitrées et son orientation. Ce qui nous renvois à examiner ce qui se passe à l'échelle d'une zone.
Les besoins thermiques de refroidissement d'une zone sont déterminés à partir d'un bilan thermique sur la zone qui peut être formulé, en régime établi et à l'échelle horaire, de la manière suivante (sans tenir compte de l'effet de l'inertie thermique):

$$Q_{refroidissement} \quad [Q_i \quad Q_{s,op} \quad Q_{s,vitrage} \quad (T_o \quad T_{i,m}) \quad (UA)]$$

$Q_{refroidissement}$	Besoins thermiques instantanés de refroidissement de la zone [W]
Q_i	Apports thermiques au niveau de la zone (éclairage, équipements, occupants, etc.) [W]
$Q_{s,op}$	Apports solaires à travers les parois opaques de la zone [W]
$Q_{s,vitrage}$	Apports solaires à travers les parois vitrées de la zone [W]
T_o	Température ambiante à l'extérieur [°C]
$T_{i,m}$	Température de consigne pour le refroidissement de la zone [°C]
(UA)	Coefficient d'échange thermique global de la zone [W/°C]

Le signe (+) indiquant que seules les valeurs positives de l'expression sont comptabilisés

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

Il est à rappeler que quand T_o est inférieur à $T_{i,m}$, seule la partie de $(Q_i+Q_{s,op}+Q_{s,vitrage})$ qui contribue à la surchauffe de la zone au-delà de $T_{i,m}$ est incluse dans les besoins thermique de refroidissement de la zone. Par ailleurs, et quand T_o est supérieur à $T_{i,m}$, toute la quantité de $(Q_i+Q_{s,op}+Q_{s,vitrage})$ est incluse dans les besoins thermiques de refroidissement de la zone. Cette composante forme très souvent la plus importante part de ces besoins.

L'expression permettant d'évaluer Q refroidissement peut être réécrite de la manière suivante, en introduisant le concept de température d'équilibre :

$$Q_{refroidissement} \quad (UA)\ (T_o \quad T_{b,m})$$

Avec

$$T_{b,m} \quad T_{i,m} \quad \frac{Q_i \quad Q_{s,op} \quad Q_{s,vitrage}}{(UA)}$$

En examinant les deux dernières équations, il est clair que quand la température extérieure (T_o) est inférieure à la température de consigne pour le refroidissement $(T_{i,m})$, les besoins thermiques de refroidissement d'une zone augmentent quand la température d'équilibre $T_{b,m}$ diminue . Et $T_{b,m}$ diminue quand la somme des apports thermiques de la zone ; $(Q_i + Q_{s,op} + Q_{s,vitrage})$, augmente, mais aussi quand le coefficient d'échange thermique globale de la zone (UA) diminue. En agissant uniquement sur l'isolation thermique des parois opaques, on réduit d'une part les apports solaires à travers ces parois, ce qui aurait pour conséquence une réduction de la somme des apports thermiques de la zone $(Q_i + Q_{s,op} + Q_{s,vitrage})$, mais aussi une réduction de son coefficient d'échange thermique global ; (UA).Ces deux conséquences ont deux effets opposés sur $T_{b,m}$: La première aurait tendance à le tirer vers le haut, la deuxième vers le bas.

On peut donc conclure que quand les apports solaires à travers la partie concernée des parois opaques de la zone, sont relativement faibles (cas des murs extérieurs), l'augmentation de l'isolation thermique de ces parois aurait plutôt tendance à faire baisser la température d'équilibre $T_{b,m}$ ce qui occasionnerait une augmentation des besoins de refroidissement durant les heures où $T_o < T_{i,m}$.

Par ailleurs, quand les apports solaires à travers la partie concernée des parois opaques de la zone, sont relativement importants (cas des toitures exposées), l'incidence de l'augmentation de l'isolation thermique de la parois serait conditionnée par l'importance des autres apports $(Q_i + Q_{s,vitrage})$ par rapport à la partie de $Q_{s,op}$ qui est concernée.
Il existerait donc un niveau d'isolation thermique optimal pour chaque paroi opaque qui dépendrait des autres apports thermiques de la zone concernée. Au-delà de ce niveau optimal, l'augmentation de l'isolation thermique aurait soit une incidence neutre ou une incidence négative sur les besoins thermiques de refroidissement de la zone.

On peut donc affirmer que du point de vue des besoins thermiques de refroidissement, l'isolation des parois extérieure doit être abordée en tenant compte des contre-performances éventuelles d'une isolation thermique excessive, tout en s'approchant le plus possible de la valeur thermiquement optimale.

Le graphique suivant illustre l'impact de l'isolation thermique des parois opaques sur les besoins thermiques de refroidissement pour les configurations de base qui ont fait l'objet de cette étude, et ce pour le site de Tunis. Les graphiques relatifs aux sites de Jendouba et Tozeur sont fournis en annexe.

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

Variation des besoins thermiques de refroidissement d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du niveau d'isolation thermique des parois opaques et du taux des baies vitrées (Vitrage type SVC : Simple clair), pour deux orientations différentes
Site de référence : TUNIS

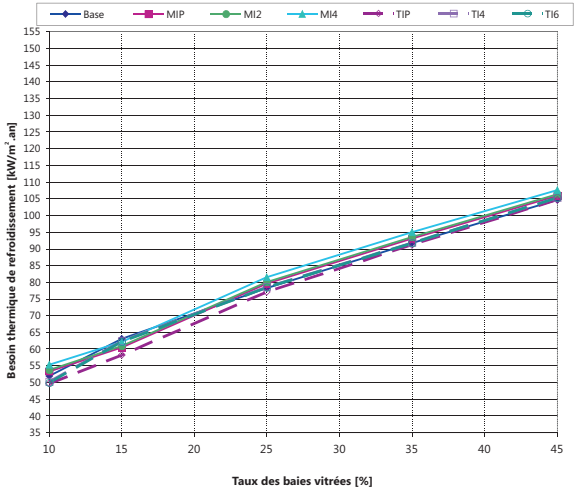


Fig. (a) :
Axe principal du bâtiment orienté NORD

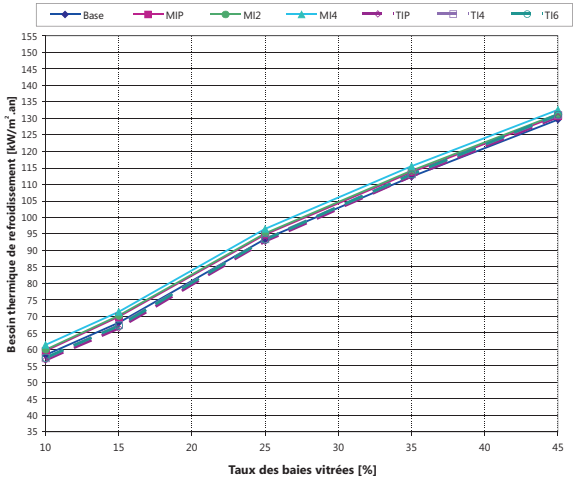


Fig. (b) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

Base : Configuration de base ; Murs ext. en double cloison de 35cm (DC35) & SVC : Simple Vitrage Clair/ Toiture dalle à hourdis 16+5 & frm de pente

MIP : Base+ 4cm béton de polystyrène ds vide d'air DC35
MI2 : Base+ 2cm plaque polystyrène ds vide d'air DC35
MI4 : Base+ 4cm plaque polystyrène ds vide d'air DC35

TIP : Base+ 10cm béton de polystyrène frm de pente
TI4 : Base+ 4 cm plaque polystyrène
TI6 : Base+ 6 cm plaque polystyrène

Variation des besoins thermiques de refroidissement d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du niveau d'isolation thermique des parois opaques et du taux des baies vitrées (Vitrage type SVBR : Simple vitrage bronze), pour deux orientations différentes
Site de référence : TUNIS

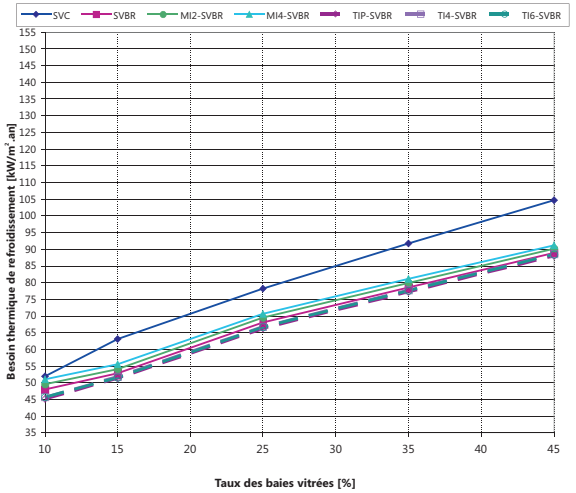


Fig. (a):
Axe principal du bâtiment orienté NORD

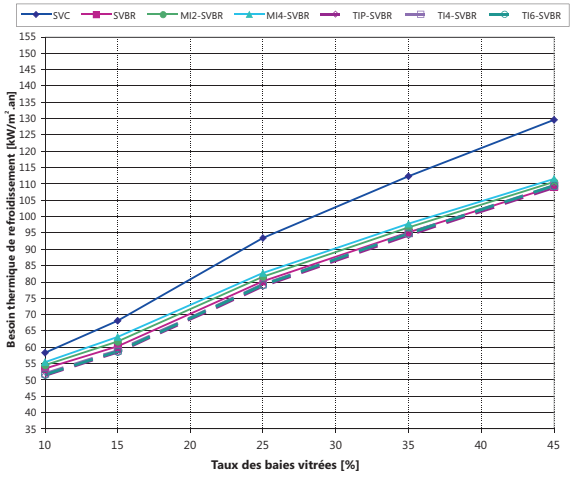


Fig. (b) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

SVC : Simple Vitrage Clair (configuration de base)
SVBR : Simple Vitrage Bronze (Idem configuration de base, mais avec SVBR au lieu de SVC)

MI2-SVBR : Combinaison de SVBR & MI2
MI4-SVBR : Combinaison de SVBR & Mi4

TIP-SVBR : Combinaison de SVBR & TIP
TI4-SVBR : Combinaison de SVBR & TI4
TI6-SVBR : Combinaison de SVBR & TI6

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

Variation des besoins thermiques de refroidissement d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du niveau d'isolation thermique des parois opaques et des taux des baies vitrées (Vitrage type DVCLE : double vitrage clair à faible emissivité), pour deux orientations différentes
Site de référence : TUNIS

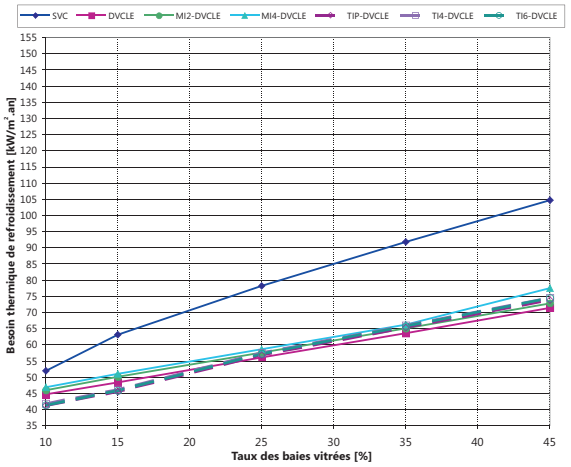


Fig. (a) :
Axe principal du bâtiment orienté NORD

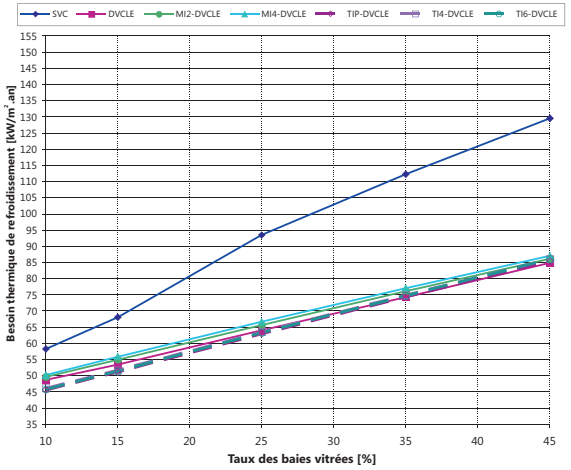


Fig. (b) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

SVC : Simple Vitrage Clair (configuration de base)
SVBR : Simple Vitrage Bronze (Idem configuration de base, mais avec SVBR au lieude SVC)
MI2-SVBR : Combinaison de SVBR & MI2
MI4-SVBR : Combinaison de SVBR & Mi4
TIP-SVBR : Combinaison de SVBR & TIP
TI4-SVBR : Combinaison de SVBR & TI4
TI6-SVBR : Combinaison de SVBR & TI6

Impacts sur la somme des besoins thermiques de chauffage & de refroidissement du bâtiment :

Les résultats révèlent que la somme des besoins thermiques de chauffage & de refroidissement diminuent, ou restent quasiment inchangés, en fonction de l'augmentation de l'isolation thermique des parois extérieurs, et ce pour tous les types de vitrage, et les deux orientations principales du bâtiment qui ont été considérées. Toutefois, l'isolation thermique de la toiture contribue dans tous les cas de figure à la réduction de la somme des besoins thermiques de chauffage et de refroidissement.
Par ailleurs, l'impact relatif de l'isolation thermique est d'autant plus important que les taux des baies vitrées sont plus faibles.
Les résultats suivants ont été observés pour l'isolation thermique des murs extérieurs :

Pour la configuration de base correspondant à un simple vitrage clair [SVC], la somme des besoins thermiques de chauffage et de refroidissement accuse une réduction d'environ 1-6% pour un taux des baies vitrées = 10% à 15%, et quasiment pas de changement au-delà de ces taux des baies vitrées, quand le coefficient de déperdition thermique du mur extérieur ; U, passe de 1,11 (MI0) à 0,80 W/m².K (MI2) ou 0,60 W/m².K (MI4).

Pour la configuration de base où le simple vitrage clair [SVC] a été remplacé par un simple vitrage couleur bronze [SVBR], les résultats sont assez comparables, et la somme des besoins thermiques de chauffage et de refroidissement accuse une réduction d'environ 1-7% pour un taux des baies vitrées = 10% à 25%, et quasiment pas de changement au-delà de ces taux des baies vitrées, quand le coefficient de déperdition thermique du mur extérieur ; U, passe de 1,11 (MI0) à 0,80 W/m².K(MI2) ou 0,60 W/m².K (MI4).

Pour la configuration de base où le simple vitrage clair [SVC] a été remplacé par un double vitrage muni d'un film à faible émissivité [DVCLE], on constate une meilleure performance relative avec une réduction de la somme des besoins thermiques de chauffage et de refroidissement d'environ 2-9% pour un taux des baies vitrées = 10% à 35%, et quasiment pas de changement, ou une légère hausse au-delà de ces taux des baies vitrées, quand le coefficient de déperdition thermique du mur extérieur; U, passe de 1,11 (MI0) à 0,80 W/m².K (MI2) ou 0,60 W/m².K (MI4).

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

Le tableau suivant donne un aperçu des résultats par site, pour les 3 niveaux d'isolation thermique de mur considérés, en termes de taux de variation des besoins thermiques de chauffage & refroidissement pour la configuration de base (simple vitrage clair) :

Impact du niveau d'isolation thermique du mur sur les besoins thermiques de chauffage et de refroidissement du bâtiment considéré (configuration de base ; simple vitrage clair avec taux des baies vitrées TBV)

SITE	Orientation du bâtiment	Niveaux d'isolation thermique considérés (U_{Base} = 1,11 W/m².K)					
		TIP (U=0,87 W/m².K)		TI4(U=0,80 W/m².K)		TI6(U=0,57 W/m².K)	
		TBV= 0,10	TBV= 0,45	TBV=0,10	TBV=0,45	TBV=0,10	TBV= 0,45
Tunis (ZT1)	Nord	- 1%	0%	- 1%	0%	- 2%	0%
	Est	- 1%	0%	- 1%	0%	- 2%	0%
Jendouba (ZT2)	Nord	- 2%	0%	- 2%	0%	- 3%	0%
	Est	- 2%	0%	- 2%	0%	- 4%	0%
Tozeur (ZT3)	Nord	- 3%	0%	- 3%	0%	- 6%	0%
	Est	- 2%	0%	- 3%	0%	- 5%	0%

En ce qui concerne l'incidence de l'isolation thermique des toitures exposées sur la somme des besoins thermiques de chauffage et de refroidissement, les résultats suivants ont été constatés :

Pour la configuration de base correspondant à un simple vitrage clair [SVC], la somme des besoins thermiques de chauffage et de refroidissement accuse une réduction d'environ 2-5% (taux des baies vitrées =45%) à 8-14% (taux des baies vitrées=10%), quand le coefficient de déperdition thermique de la toiture exposée ; U, passe de 2,20 (TI0) à 0,72/0,69 ou 0,51W/m².K (TIP/TI4 ou TI6).

Pour la configuration de base où le simple vitrage clair [SVC] a été remplacé par un simple vitrage couleur bronze [SVBR], la somme des besoins thermiques de chauffage et de refroidissement accuse une réduction d'environ 3-5% (taux des baies vitrées=45%) à 8-13% (taux des baies vitrées =10%), quand le coefficient de déperdition thermique de la toiture exposée ; U, passe de 2,20 (TI0) à 0,72/0,69 W/m².K (TIP/TI4).

Cette réduction est d'environ 3-6% (taux des baies vitrées=45%) à 11-15% (taux des baies vitrées=10%), quand le coefficient de déperdition thermique de la toiture exposée ; U, passe de 2,20 (TI0) à 0,51 W/m².K (TI6).

Pour la configuration de base où le simple vitrage clair [SVC] a été remplacé par un double vitrage muni d'un film à faible émissivité [DVCLE], on constate une meilleure performance relative avec une réduction de la somme des besoins thermiques de chauffage et de refroidissement d'environ 3-8% (taux des baies vitrées=45%) à 11-15% (taux des baies vitrées=10%), quand le coefficient de déperdition thermique de la toiture exposée ; U, passe de 2,20 (TI0) à 0,72/0,69 W/m².K (TIP/TI4). Cette réduction est d'environ 4-9% (taux des baies vitrées=45%) à 13-17% (taux des baies vitrées=10%), quand le coefficient de déperdition thermique de la toiture exposée ; U, passe de 2,20 (TI0) à 0,51 W/m².K (TI6).

Le tableau suivant donne un aperçu des résultats par site, pour les 3 niveaux d'isolation thermique de toiture considérés, en terme de taux de variation des besoins thermiques de chauffage et de refroidissement pour la configuration de base (simple vitrage clair) :

Impact du niveau d'isolation thermique de la toiture sur les besoin thermiques de chauffage et de refroidissement du bâtiment considéré (configuration de base ; simple vitrage clair avec taux des baies vitrées TBV)

SITE	Orientation du bâtiment	Niveaux d'isolation thermique considérés (U_{Base} = 2,20 W/m².K)					
		TIP (U=0,72 W/m².K)		TI4(U=0,69 W/m².K)		TI6(U=0,51 W/m².K)	
		TBV= 0,10	TBV= 0,45	TBV=0,10	TBV=0,45	TBV=0,10	TBV= 0,45
Tunis (ZT1)	Nord	- 10%	- 3%	- 10%	- 3%	- 11%	- 4%
	Est	- 8%	- 2%	- 8%	- 2%	- 8%	- 3%
Jendouba (ZT2)	Nord	- 12%	- 5%	- 12%	- 5%	- 14%	- 5%
	Est	- 9%	- 3%	- 9%	- 3%	- 11%	- 3%
Tozeur (ZT3)	Nord	- 11%	- 4%	- 12%	- 4%	- 13%	- 5%
	Est	- 8%	- 3%	- 9%	- 3%	- 10%	- 3%

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

En conclusion, on peut affirmer, qu'en règle générale -dans le climat et le contexte tunisien- et dans le cas de bâtiments à usage de bureaux, l'augmentation de l'isolation thermique des parois opaques engendre une réduction relativement modérée de la somme des besoins thermiques de chauffage et de refroidissement. Toutefois, l'impact de l'isolation thermique de la toiture est plus important que celui des murs extérieurs. Cette réduction est d'autant plus importante que le taux des baies vitrées est plus faible.

Le graphique suivant illustre l'impact de l'isolation thermique des parois opaques sur les besoins thermiques de chauffage et de refroidissement pour les configurations de base qui ont fait l'objet de cette étude, et ce pour le site de Tunis. Les graphiques relatifs aux sites de Jendouba et Tozeur sont fournis en annexe.

Variation des besoins thermiques de chauffage et de refroidissement d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du niveau d'isolation thermique des parois opaques et taux des baies vitrées (Vitrage type SVC: Simple vitrage clair), pour deux orientations différentes
Site de référence : TUNIS

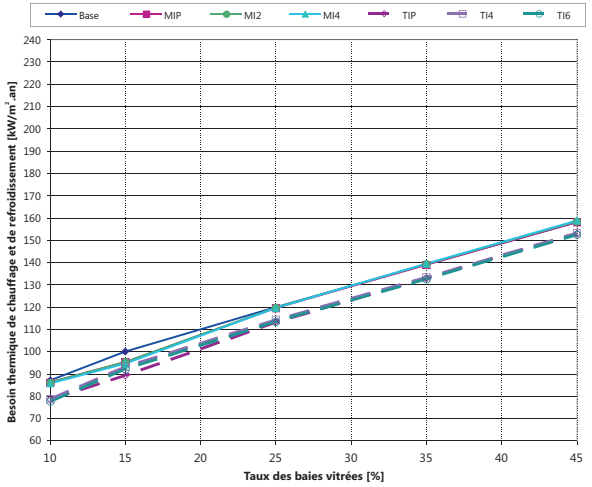


Fig. (a):
Axe principal du bâtiment orienté NORD

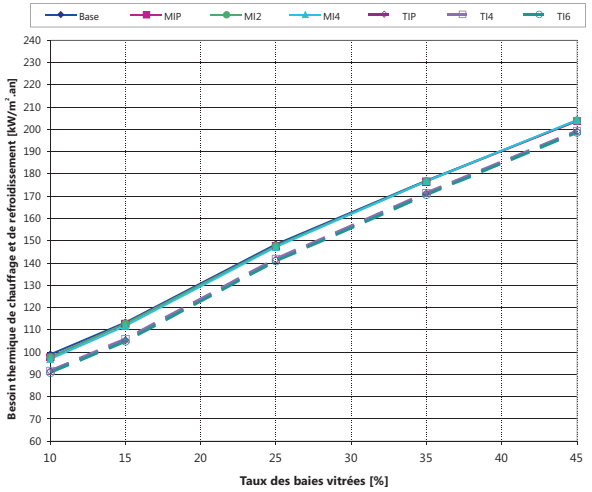


Fig. (b) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

Base : Configuration de base ; Murs ext. en double cloison de 35cm (DC35) & SVC : Simple Vitrage Clair/ Toiture dalle à hourdis 16+5 & frm de pente

MIP : Base+ 4cm béton de polystyrène ds vide d'air DC35
MI2 : Base+ 2cm plaque polystyrène ds vide d'air DC35
MI4 : Base+ 4cm plaque polystyrène ds vide d'air DC35

TIP : Base+ 10cm béton de polystyrène frm de pente
TI4 : Base+ 4 cm plaque polystyrène
TI6 : Base+ 6 cm plaque polystyrène

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

Variation des besoins thermiques de chauffage et de refroidissement d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du niveau d'isolation thermique des parois opaques et taux des baies vitrées (Vitrage type SVBR : Simple vitrage bronze), pour deux orientations différentes
Site de référence : TUNIS

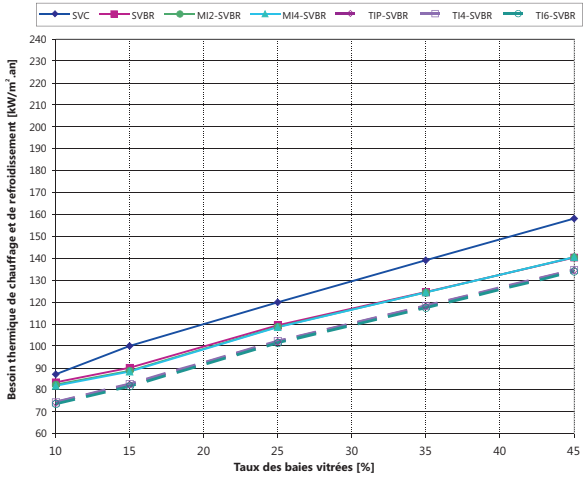


Fig. (a) :
Axe principal du bâtiment orienté NORD

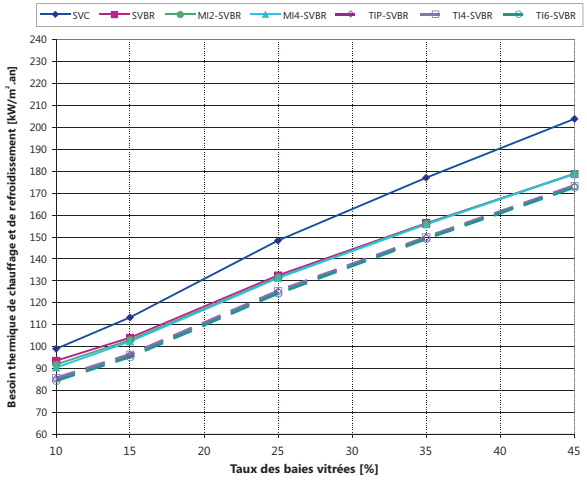


Fig. (b) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

SVC : Simple Vitrage Clair (configuration de base)
SVBR : Simple Vitrage Bronze (Idem configuration de base, mais avec SVBR au lieu de SVC)
MI2-SVBR : Combinaison de SVBR & MI2
MI4-SVBR : Combinaison de SVBR & Mi4
TIP-SVBR : Combinaison de SVBR & TIP
TI4-SVBR : Combinaison de SVBR & TI4
TI6-SVBR : Combinaison de SVBR & TI6

Variation des besoins thermiques de chauffage et de refroidissement d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du niveau d'isolation thermique des parois opaques et taux des baies vitrées (Vitrage type DVCLE : Double Vitrage Clair à faible Emissivité), pour deux orientations différentes
Site de référence : TUNIS

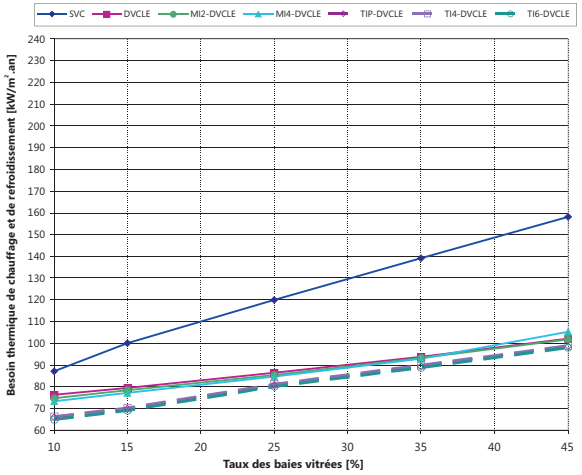


Fig. (a):
Axe principal du bâtiment orienté NORD

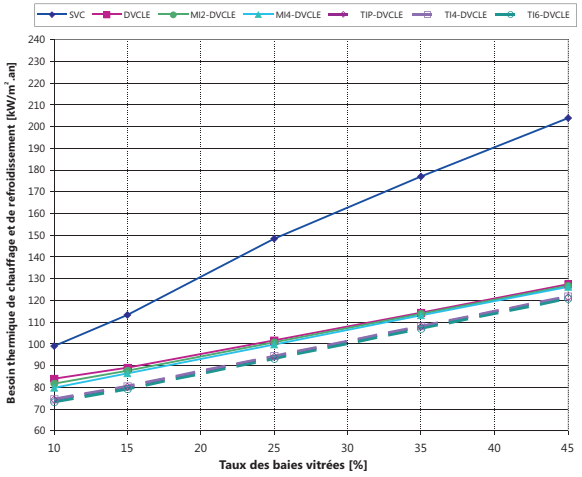


Fig. (b) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

SVC : Simple Vitrage Clair (configuration de base)
SVBR : Simple Vitrage Bronze (Idem configuration de base, mais avec SVBR au lieu de SVC)
MI2-SVBR : Combinaison de SVBR & MI2
MI4-SVBR : Combinaison de SVBR & Mi4
TIP-SVBR : Combinaison de SVBR & TIP
TI4-SVBR : Combinaison de SVBR & TI4
TI6-SVBR : Combinaison de SVBR & TI6

En ce qui concerne les autres simulations exploratrices, Seules les simulations relatives à l'utilisation de systèmes de gestion de l'éclairage artificiel, pour prendre en compte les apports de l'éclairage naturel, ont donné lieu à des impacts significatifs sur les consommations d'énergie pour le chauffage, refroidissement et l'éclairage artificiel. Les options relatives à l'utilisation de degrés d'isolation thermique au-delà des valeurs utilisées dans les simulations considérées pour cette étude n'a pas donné lieu à des résultats relativement plus intéressants, et les options relatives à la taille ou emplacement de l'inertie thermique non plus.

B.3. Analyse Technico-économique des résultats obtenus

Le choix des seuils relatifs à la réglementation minimale et au label devrait découler d'une analyse économique globale des différentes options d'amélioration qui peuvent être apportées, à une ou plusieurs configurations de référence. En effet, le but recherché est de minimiser les coûts globaux sur le cycle de vie du bâtiment, et ce du point de vue du consommateur et de l'intérêt de la communauté. Le niveau d'amélioration optimal correspond généralement à la configuration pour laquelle ces coûts globaux sont au minimum.

L'analyse du coût global se base sur les surcoûts associés à l'amélioration en terme d'investissement, et les baisses engendrées par cette amélioration au niveau des coûts d'exploitation. Le niveau optimal d'amélioration est donc atteint lorsque le coût global (investissement + exploitation) est à son minimum. Toutefois, le niveau optimal n'est pas toujours un niveau déterminé d'une manière distincte, et est souvent constitué par une plage de valeurs plus ou moins étendue. Dans certaines situations il peut s'avérer être un niveau que le marché n'est pas prés à atteindre, et on se contente d'opter pour un niveau jugé réalisable en terme du rapport des surcoûts au coût initial. Les niveaux ainsi déterminés serviront d'objectifs " intermédiaires " permettant de tirer le marché vers des objectifs plus ambitieux. Des surcoûts de l'ordre de 5% sont souvent jugés acceptables, car le marché est capable d'évoluer rapidement vers une résorption de ces surcoûts, permettant ainsi de les dépasser et d'instaurer les améliorations associées à ces niveaux de surcoût comme pratiques courantes.

> *« le marché est capable d'évoluer rapidement vers une résorption de ces surcoûts »*

B.3.1. Détermination des niveaux des surcoûts observés

Afin de déterminer les niveaux de surcoût associés à chacune des améliorations apportée à l'enveloppe, il y'a lieu de définir les trois éléments suivants nécessaires à la conduite de l'analyse :

Les coûts unitaires associés aux différents ouvrages :

Coût unitaire d'un mur extérieur fini ou d'une toiture (DT/m²) dans leur version de base et dans leurs versions améliorées, coût unitaire d'une baie vitrée (DT/m²) en cas de simple vitrage et dans les différents cas de vitrage amélioré. Ces coûts unitaires permettent de déterminer les différents surcoûts, une fois la configuration de référence est définie.

La configuration de référence par rapport à laquelle sont calculés les surcoûts :

Il s'agit là de définir la configuration considérée initiale, afin de pouvoir déterminer les surcoûts associés aux améliorations apportées à cette configuration. Deux scénarios de configurations de référence ont été examinés : Un scénario où la configuration de référence est définie d'une manière " relative " ou " glissante " ; elle correspond dans ce cas à la configuration de base (murs et toiture sans isolation thermique et simple vitrage clair) relative à chaque taux des baies vitrées. Et un scénario où la configuration de référence est définie d'une manière " absolue " ; elle correspond dans ce cas à la configuration de base relative à un taux des baies vitrées de 25%, et ce pour toutes les configurations.

Le premier scénario permet d'apprécier l'étendue des surcoûts associés aux améliorations possibles par rapport à un choix figé au niveau du taux des baies vitrées. Le deuxième scénario permet de cerner les surcoûts dans un cadre général, où le choix du taux des baies vitrées n'est pas figé, et par rapport à un niveau de performance énergétique à la limite du niveau règlementaire. Il permet ainsi de comparer, entre elles, toutes les différentes alternatives qui peuvent se présenter, sans figer aucun des paramètres conceptuels. Le taux des baies vitrées de 25% a été retenu comme référence car il a été jugé comme étant la limite supérieure de ce qui pourrait être considéré comme un taux des baies vitrées " raisonnable " pour un bâtiment courant à usage de bureaux dans le climat tunisien, et ce pour les raisons suivantes :

La configuration de base associée à ce taux des baies vitrées donne, pour l'orientation favorable dans chaque site (Nord), une intensité énergétique assez proche de la moyenne des résultats de toutes les configurations relatives à ce site (inférieure à la valeur moyenne augmentée d'un Ecart-Type/2),

Au delà de ce taux des baies vitrées (25%) l'impact marginal d'un taux plus élevé sur la contribution de l'éclairage naturel est négligeable,

Le coût initial de la construction :

Il s'agit là d'un coût global de la construction, exprimé en DT/m² de surface conditionnée. Ce coût correspondrait à la moyenne des coûts de construction observés sur le marché pour le type de bâtiment considéré (bâtiment à usage de bureaux). Ce coût serait uniquement pris en compte pour définir les niveaux des surcoûts en fonctions des coûts pratiqués sur le marché; évaluer pour chaque amélioration le surcoût en terme de fraction du coût actuel de la construction. Il est clair que les trois éléments indiqués ci-dessus sont étroitement liés, et que leur dissociation n'est envisagée que pour permettre de simplifier l'analyse technico-économique objet de cette partie.

B.3.2. Normalisation des niveaux des surcoûts observés

Afin de permettre une analyse des surcoûts sur la base de critères se référant aux mêmes référentiels que les intensités de besoins ou consommations énergétiques, ainsi que le coût initial de la construction, les surcoûts unitaires correspondants à chaque amélioration ont été évalués pour chacun des scénarios de configuration de référence (" relative " et " absolue "), et rapportés à la surface conditionnée. Ensuite, les surcoûts ont été exprimés en terme de pourcentage d'augmentation du coût initial de la construction.

B.3.3. Présentation des surcoûts observés

Le critère de performance énergétique de l'enveloppe a été définit comme étant le niveau d'intensité énergétique correspondant à la somme annuelle des besoins thermiques de chauffage et des besoins thermiques de refroidissement rapportée à la surface conditionnée des locaux. Plus ce niveau d'intensité est faible, plus l'enveloppe du bâtiment est performante.

Il est donc important de situer les surcoûts observés par rapport à un niveau préliminaire de performances énergétiques permettant d'apprécier l'impact des améliorations effectuées sur les performances initiales, et d'examiner les surcoûts qui leurs sont associés. Par ailleurs, afin de focaliser l'analyse sur les configurations les plus significatives du point de vue performance énergétique, on ne retiendra pour l'analyse que les configurations conformes aux exigences suivantes :

Celles ayant permis d'atteindre, dans chaque site, une performance énergétique au moins égale à la moyenne de l'intensité énergétique des besoins annuels de toutes les simulations réalisées dans les 3 sites (2550 cas) augmentée de 1 [Ecart-Type / 2], soit environ 140 kWh/m².an. Les moyennes des résultats obtenus, avec les écarts types correspondants, sont indiquées dans le tableau suivant :

Moyennes des intensités des besoins énergétiques annuels de chauffage et de refroidissement [kWh/m².an]

	Chauffage	Refroidissement	Chauffage + Refroidissement
Résultats pour **Tunis** (Zone climatique règlementaire: Zt1) – 850 configurations			
Moyenne=	36,0	73,5	109,5
Ecart Type=	11,0	20,9	30,3
Résultats pour **Jendouba** (Zone climatique règlementaire: ZT2) – 850 configurations			
Moyenne=	59,7	65,8	125,6
Ecart Type=	17,9	17,9	34,9
Résultats pour **Tozeur** (Zone climatique règlementaire: Zt3) – 850 configurations			
Moyenne=	43,0	86,8	129,9
Ecart Type=	13,3	22,6	34,7
Résultats pour les 3 sites de référence (Tunis, Jendouba et Tozeur)– 2550 configurations			
Moyenne=	46,3	75,4	121,6
Ecart Type=	17,5	22,3	34,5

Et celles dont les améliorations apportées à l'enveloppe ont permis de réaliser une réduction de l'intensité de la somme des besoins annuels de chauffage et de refroidissement du bâtiment au moins égale à 1 [Ecart-Type / 2], soit environ 17,5 kWh/m².an

Les deux figures suivantes présentent, pour Tunis, les différents niveaux de surcoûts correspondant aux niveaux d'intensité énergétique tel que définit dans le paragraphe précédent.

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

La première courbe présente les différents surcoûts évalués sur la base du scénario correspondant à une configuration de référence " relative " (configuration de base relative à chaque taux des baies vitrées), et la deuxième courbe présente les différents surcoûts sur la base du scénario correspondant à la configuration de référence " absolue " (configuration de base correspondant à un taux des baies vitrées de 25%). Dans le premier cas, la moyenne des surcoûts est de 4,1 % pour Tunis, 3,9 % pour Tozeur et de 3,5 % pour Jendouba, dans le deuxième cas elle est de 2,3 % pour Tunis, 2,0 % pour Tozeur et de 1,9 %

Surcoûts dus aux améliorations apportées à l'enveloppe en fonction des besoins énergétiques

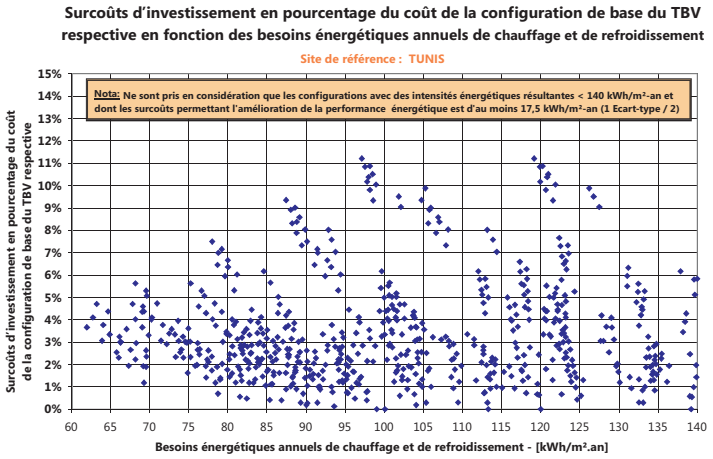


Fig. (a) : par rapport au coût de la configuration de base de chaque taux des baies vitrées respective

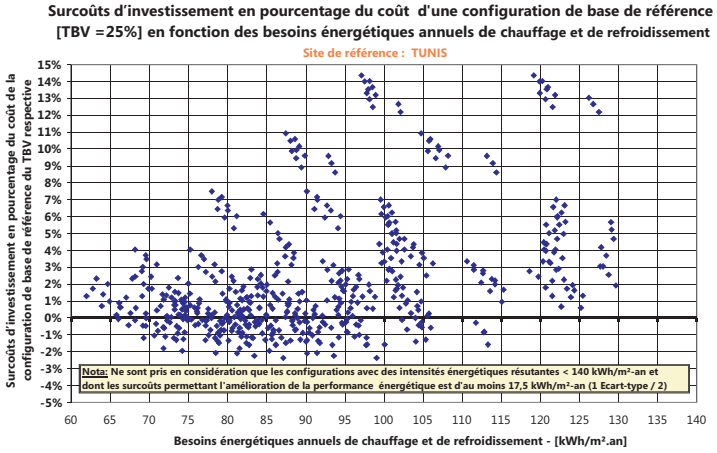


Fig. (b) : par rapport au coût de la configuration de base correspondant à 25% de taux des baies vitrées

En se basant sur le scénario où la configuration de référence est " absolue ", une partie importante des résultats présente des surcoûts négatifs, indiquant qu'il n'est pas toujours nécessaire d'investir plus pour avoir une meilleure performance énergétique au niveau de l'enveloppe du bâtiment. En effet, quand aucun des paramètres de conception n'est figé ou " tabou ", il est possible de maximiser les performances énergétiques de l'enveloppe d'un bâtiment tout en maîtrisant d'une manière assez considérable ses coûts de construction.
Le tableau suivant récapitule les statistiques des résultats de l'analyse pour chaque taux des baies vitrées.

Récapitulation des surcoûts par taux des baies vitrées et par site
Besoins thermiques de chauffage et de refroidissement 140

	Configuration de référence = Conf iguration de base correspondante au taux des baies vitrées indiqué											
	Minimum %			Maximum %			Moyenne %			Ecart Type %		
	Tunis	Jendouba	Tozeur	Tunis	Jendouba	Tozeur	Tunis	Jendouba	Tozeur	Tunis	Jendouba	Tozeur
Ensemble des résultats	0,6	0,3	0,6	11,2	11,2	11,2	4,1	3,5	3,9	2,3	2,2	2,1
TBV = 10%	1,2	0,3	0,6	4,7	4,7	4,7	2,9	2,3	2,7	0,9	0,9	0,8
TBV = 15%	0,7	0,3	0,7	5,6	5,6	5,6	3,0	2,6	3,0	1,2	1,2	1,1
TBV = 25%	0,6	0,6	1,0	7,5	7,5	7,5	3,7	3,7	4,0	1,7	1,7	1,7
TBV = 35%	0,7	0,7	0,7	9,4	9,4	9,4	4,7	5,0	5,0	2,4	2,5	2,5
TBV = 45%	0,8	4,3	4,0	11,2	11,2	11,2	5,9	8,0	7,6	3,1	2,2	2,3
	Configuration de référence = Configuration de base correspondante à un taux des baies vitrées de 25%											
Ensemble des résultats	-2,4	-2,4	-2,4	14,4	14,4	14,4	2,3	1,9	2,0	3,6	3,3	3,4
TBV = 10%	-2,4	-2,4	-2,4	2,3	2,3	2,3	-0,3	-0,3	-0,3	1,0	1,0	1,0
TBV = 15%	-1,6	-1,6	-1,6	4,1	4,1	4,1	0,9	0,9	0,9	1,2	1,2	1,2
TBV = 25%	0,6	0,6	0,6	7,5	7,5	7,5	3,6	3,9	3,9	1,7	1,7	1,7
TBV = 35%	4,7	6,0	5,0	10,9	10,9	10,9	8,0	9,2	8,6	2,0	1,4	1,9
TBV = 45%	12,2	12,5	9,3	14,4	14,4	14,4	13,3	13,6	13,1	0,6	0,6	1,2

NB : Ne sont pris en considération que les surcoûts permettant l'amélioration des besoins thermiques d'au moins 17,5 kWh/m².an

Ces différents résultats permettent de révéler une relation assez forte entre les taux des baies vitrées considérés et les niveaux de surcoûts enregistrés. Cette tendance est encore plus significative dans le cas où les surcoûts sont évalués sur la base de la configuration de référence " absolue " correspondant à un taux des baies vitrées de 25%. En effet, dans le cadre de ce scénario de référence, on peut avancer ce qui suit :

Approche retenue pour le développement des exigences du label

Cas des bâtiments à usage de bureaux

Dans plus que 70% des cas, les surcoûts associés à des taux des baies vitrées ne dépassant pas 15%, sont inférieurs à 1%,

La moyenne des surcoûts est négative pour les cas associés à un taux des baies vitrées de 10% (dans ces cas, le surcoût minimum observé est de -2,4%, le maximum étant de +2,3%), et n'atteint pas 1% pour les cas associés à un taux des baies vitrées de 15%. Dans ces cas, le surcoût minimum observé est de -1,6%, le maximum observé étant de 4,1%. La moyenne des surcoûts est de 0,3 % pour l'ensemble des cas associés à un taux des baies vitrées ne dépassant pas 15%.

Pour les cas associés à un taux des baies vitrées de 25%, la moyenne des surcoûts est de 3,6% pour Tunis et de 3,9% pour Jendouba et Tozeur. Dans ces cas, le surcoût minimum observé pour les 3 sites est de 0,6%, le maximum étant de +7,5%.

Pour les cas associés à un taux des baies vitrées de 35%, la moyenne des surcoûts est de 8% pour Tunis, 8,6% pour Tozeur et 9,2% pour Jendouba. Dans ces cas, le surcoût minimum observé est de 4,7% pour Tunis (5% pour Tozeur et 6% pour Jendouba), le maximum étant de 10,9% pour les 3 sites.

Pour les cas associés à un taux des baies vitrées de 45%, la moyenne des surcoûts est de 13,1% pour Tozeur, 13,3% pour Tunis et 13,6% pour Jendouba. Dans ces cas, le surcoût minimum observé est de 9,3% pour Tozeur (12,2% pour Tunis et 12,5% pour Jendouba), le maximum étant de 14,4% pour les 3 sites.

Un vitrage orienté Est/Ouest est plus préjudiciable à la performance énergétique de l'enveloppe d'un bâtiment qu'un vitrage orienté Nord/Sud. En effet, on peut remarquer qu'à performances énergétiques égales, les surcoûts associés au premier cas sont nettement plus importants que ceux associés au second cas.

Suite à cette analyse technico-économique des résultats, les Conclusions suivantes peuvent être formulées :

- Le taux des baies vitrées d'une enveloppe et sa répartition sur les différentes orientations d'un bâtiment jouent un rôle prépondérant dans la performance énergétique de l'enveloppe, et détermine d'une manière assez nette les niveaux de surcoûts susceptibles d'apporter les améliorations nécessaires pour atteindre un niveau de performance énergétique escompté.
- En dessous d'un certain taux des baies vitrées (environ 20%), il est possible d'apporter une augmentation notable des performances énergétiques d'une enveloppe, par rapport à une configuration de référence " absolue ", sans que cela puisse engendrer un quelconque surcoût,
- Au-delà d'un certain taux des baies vitrées (environ 30%), les surcoûts associés aux efforts d'amélioration, deviennent d'autant plus élevés que le taux des baies vitrées est plus important.
- Tous les surcoûts observés restent dans une plage gérable, jusqu'à un taux des baies vitrées de 25% (moyenne des surcoûts de 3,6 à 3,9% pour les cas associés à ce taux des baies vitrées dans les 3 sites, et surcoût maximum observé de +7,5%), partiellement gérable pour le taux des baies vitrées de 35%, et plutôt difficilement gérable au-delà de ce taux.

En vu de ce qui précède, il est proposé de formuler le " coût " des améliorations apportées à l'enveloppe sur la base d'un niveau d'" Effort de perfectionnement " de l'enveloppe, plus tôt que d'un niveau de surcoût de construction: Cet " Effort de perfectionnement " peut être sous la forme d'une réflexion conceptuelle très élaborée, un compromis au niveau du parti architectural, ou un surcoût au niveau des éléments constructifs, etc.

Il est clair que dans une démarche d'optimisation des performances énergétique de l'enveloppe d'un bâtiment, les deux premiers types d'" Effort de perfectionnement " doivent être considérés en premier lieu, afin de tirer profit de toutes possibilités d'amélioration n'engendrant pas de surcoûts au niveau des éléments constructifs.

Par ailleurs, il y a lieu de noter qu'à ce stade de l'analyse, les incidences des améliorations apportées à l'enveloppe sur les capacités calorifiques et frigorifiques des équipements à installer n'ont pas été prises en compte dans l'évaluation des surcoûts. En effet, les surcoûts indiqués devront être revus à la baisse en conséquence des diminutions des investissements relatifs aux équipements de chauffage et refroidissement à installer (réduction des capacités de ces équipements). De ce fait, les surcoûts indiqués représenteraient plutôt une limite supérieure.

> *« Les surcoûts indiqués devront être revus à la baisse en conséquence des diminutions des investissements relatifs aux équipements de chauffage et refroidissement à installer. »*

Partie C

Formulation proposée pour le Label

Cas des bâtiments á usage de bureaux

Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

Dans la partie précédente de ce rapport, l'incidence du taux des baies vitrées ainsi que les améliorations apportées à chacune des différentes composantes de l'enveloppe du bâtiment sur ses besoins thermiques de chauffage et de refroidissement a été présentée. Les conclusions identifiaient, ainsi, l'importance relative de ces différents éléments de conception de l'enveloppe du bâtiment par rapport à ses besoins thermiques de chauffage et de refroidissement :

Importance du taux et de l'orientation des baies vitrées :

L'examen des résultats relatifs aux différentes configurations de base, ainsi qu'à ceux relatifs aux différentes options d'améliorations, a révélé que le taux des baies vitrées est le premier facteur déterminant en terme de performance énergétique globale de l'enveloppe. En effet, et tant que ce taux des baies vitrées reste relativement faible (en dessous d'environ 25%), les possibilités d'atteindre de hautes performances énergétiques, avec des surcoûts relativement maîtrisables, sont tout à fait envisageables.
Par ailleurs, l'importance de l'orientation des baies vitrées a été aussi établie. Ainsi une baie vitrée orientée Est/Ouest est beaucoup moins performante, par rapport aux besoins thermiques de chauffage et de refroidissement, qu'une baie vitrée orientée Sud ou Nord. La maîtrise du taux des baies vitrées et de ses orientations dans un bâtiment à usage de bureaux devrait être la première mesure à envisager dans le cadre de l'amélioration de ses performances thermiques.

Importance du type de vitrage :

Les résultats ont aussi montré que le type de vitrage peut jouer un rôle d'une importance considérable en terme de performance énergétique globale de l'enveloppe. Ainsi, un double vitrage avec film à faible émissivité [DVCLE] donne une meilleure performance énergétique globale à un taux des baies vitrées de 45% qu'un simple vitrage clair [SVC] à un taux des baies vitrées de 25%, il en est de même pour un double vitrage bronze [DVBR] pour une orientation Nord/Sud du bâtiment. Il est à rappeler que chaque type de vitrage est essentiellement caractérisé par trois paramètres qui concernent son comportement énergétique: Son coefficient d'échange thermique (caractéristique thermique), son coefficient de transmission solaire globale et son coefficient de transmission solaire dans le spectre du visible (caractéristiques optiques).

Les résultats ont permis les conclusions suivantes pour les bâtiments à usage de bureaux, dans le contexte climatique tunisien :

- Caractéristique thermique : La réduction du coefficient d'échange thermique (U [W/m².K]) d'un vitrage agit essentiellement sur sa performance énergétique par rapport au besoins de chauffage, et a assez peu d'influence sur sa performance par rapport aux besoins de refroidissement.
- Caractéristiques optiques : La réduction du coefficient de transmission solaire globale d'un vitrage permet de réduire en conséquence les besoins de refroidissement de la zone concernée, sans impacts notables sur ses besoins de chauffage. Le coeff icient de transmission solaire dans le spectre du visible détermine essentiellement la performance du vitrage par rapport à l'utilisation de l'éclairage naturel dans la zone concernée.

Certains films à faible émissivité permettent de doter un double vitrage clair de performances optiques et thermiques supérieurs, lui conférant ainsi un coefficient d'échange thermique du même ordre de grandeur qu'un mur extérieur en double cloison avec lame d'air, un coefficient de transmission solaire globale relativement faible, et un coefficient de transmission solaire dans le spectre du visible tout à fait acceptable. Le choix du type de vitrage en terme de ses performances thermiques et optiques devrait être parmi les premières mesures à envisager dans le cadre de l'amélioration des performances thermiques et énergétique d'un bâtiment à usage de bureaux.

> *« Le choix du type de vitrage en terme de ses performances thermiques et optiques devrait être parmi les premières mesures à envisager. »*

Importance de l'isolation thermique de la toiture :

Les résultats ont par ailleurs montré que l'isolation thermique des toitures est une action qui a un impact positif aussi bien sur les besoins thermiques de chauffage, que sur les besoins thermiques de refroidissement. L'impact positif de cette isolation thermique est d'autant plus significatif que le taux des baies vitrées est faible.

L'isolation thermique de la toiture devrait figurer parmi les mesures à considérer dans le cadre de l'amélioration des performances thermiques et énergétique d'un bâtiment à usage de bureaux.

Importance de l'isolation thermique des murs extérieurs :

En ce qui concerne l'isolation thermique des murs extérieurs, les résultats sont mitigés. En effet, cette action a un impact positif sur les besoins thermiques de chauffage, mais son impact est négligeable et parfois négatif sur les besoins thermiques de refroidissement. L'impact global de l'isolation thermique des murs extérieurs, sur la somme annuelle des besoins thermiques de chauffage et des besoins thermiques de refroidissement, reste néanmoins positif, même s'il n'est pas très important.

L'isolation thermique des murs extérieurs devrait être considérée comme une mesure non prioritaire pour les bâtiments à usage de bureaux. Son application devrait être envisagée comme une action ultime quand il s'agit d'atteindre des seuils de performance assez avancés, surtout quand le taux des baies vitrées est relativement faible.

L'approche retenue pour le développement des niveaux d'exigences du label à haute performance énergétique des bâtiments et de la réglementation minimale, consiste à établir une échelle de performance énergétique permettant de classer le bâtiment selon la performance thermique de son enveloppe exprimée en terme d'intensité des besoins (charges) calorifiques et/ou frigorifiques du bâtiment (les performances énergétiques d'un bâtiment en terme d'intensité d'énergie primaire étant proportionnelles à ses performances thermiques).

> *« L'isolation thermique des murs extérieurs devrait être considérée comme une mesure non prioritaire pour les bâtiments à usage de bureaux. »*

Les conclusions énumérées ci-dessus esquissent les contours de la formulation du label à haute performance énergétique des bâtiments à usage de bureaux. Toutefois, et afin de donner une assise plus rigoureuse à cette formulation une analyse statistique des résultats des simulations a été conduite afin d'identifier et de situer les différents niveaux de performance.

C.1. Analyse statistique des résultats des simulations

L'analyse statistique des résultats obtenus à partir des simulations avait pour but les objectifs suivants :

1. Vérifier que les impacts observés au niveau des améliorations individuelles gardent les mêmes tendances quand on les observe à une échelle agrégée, relatant le comportement de l'ensemble des résultats pour un même type d'amélioration ou combinaisons d'améliorations.

2. Identifier un ou plusieurs critères permettant de catégoriser les résultats et de servir comme paramètre(s) de base pour l'élaboration des seuils de l'échelle d'efficacité énergétique à proposer.

3. S'assurer que les seuils de performance proposés dans tous les niveaux de label sont réalisables, dans tous les sites climatiques tunisiens, avec des configurations de bâtiment tout à fait plausibles.

C.1.1. Présentation agrégée des résultats des simulations

Les statistiques agrégées de la totalité des résultats, pour les trois sites considérés (2550 cas), sont résumées dans le tableau suivant :

Besoins énergétiques annuels de chauffage et de refroidissement - Kwh/m².an
Statistiques des résultats pour les 3 sites de référence (Tunis, Jendouba et Tozeur)

	Chauffage	Refroidissement	Chauffage + Refroidissement
Minimum=	17,5	37,1	62,0
Maximum=	117,9	153,2	240,3
Moyenne=	46,3	75,4	121,6
(Maximum+Minimum)/2=	67,7	95,1	151,1
Ecart Type=	17,5	22,3	34,5
Nombre E d'Ecart type de Min. à Max	5,7	5,2	5,2

Besoins énergétiques annuels de chauffage et de refroidissement - KWh/m².an
Statistiques des résultats pour Tunis (Zone climatique règlementaire : ZT1)

	Chauffage	Refroidissement	Chauffage + Refroidissement
Minimum=	17,5	41,2	62,0
Maximum=	74,3	134,4	204,2
Moyenne=	36,0	73,5	109,5
(Maximum+Minimum)/2=	45,9	87,8	133,1
Ecart Type=	11,0	20,9	30,3
Nombre E d'Ecart type de Min. à Max	5,1	4,5	4,7

Besoins énergétiques annuels de chauffage et de refroidissement - KWh/m².an
Statistiques des résultats pour Jendouba (Zone climatique règlementaire : ZT2)

	Chauffage	Refroidissement	Chauffage + Refroidissement
Minimum=	29,2	37,1	67,7
Maximum=	117,9	111,1	226,8
Moyenne=	59,7	65,8	125,6
(Maximum+Minimum)/2=	73,6	74,1	147,3
Ecart Type=	17,9	17,9	34,9
Nombre E d'Ecart type de Min. à Max	5,0	4,1	4,6

Besoins énergétiques annuels de chauffage et de refroidissement - KWh/m².an
Statistiques des résultats pour Tozeur (Zone climatique règlementaire : ZT3)

	Chauffage	Refroidissement	Chauffage + Refroidissement
Minimum=	20,5	50,7	74,4
Maximum=	88,5	153,2	240,3
Moyenne=	43,0	86,8	129,9
(Maximum+Minimum)/2=	54,5	102,0	157,3
Ecart Type=	13,3	22,6	34,7
Nombre E d'Ecart type de Min. à Max	5,1	4,5	4,8

Il est intéressant de noter les observations suivantes :

L'écart des moyennes des besoins énergétiques de chacun des trois sites par rapport à la moyenne de l'ensemble des sites est inférieur à 1 écart-type pour les besoins de chauffage, inférieur à 0,5 écart-type pour les besoins de refroidissement, et inférieur à 0,35 écart-type pour la somme des besoins de chauffage et de refroidissement. L'écart des maximums des besoins énergétiques de chacun des trois sites par rapport au maximum de l'ensemble des sites est inférieur ou égal à 1 écart-type. L'écart des minimums est quant à lui inférieur à 0,4 écart-type. En comparant ces écarts, tous inférieur ou égal à 1 écart-type, au nombre d'au moins 5 écart-type entre la valeur minimale et maximale de chacun des besoins énergétiques, on peut conclure qu'il est tout à fait justifié d'imposer, d'un point de vu statistique, les mêmes seuils de performance énergétiques à tous les sites, en se basant sur les statistiques des résultats de l'ensemble des trois sites.

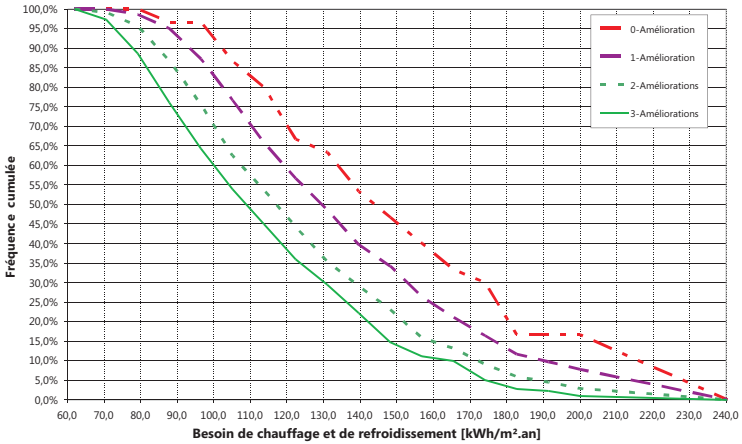
Les besoins maximums enregistrés dans chacun des trois sites sont d'environ 3 à 4 fois les besoins minimums correspondants dans ce même site, et ce dans le cas de chacune des catégories des besoins énergétiques, chauffage, refroidissement ou chauffage et refroidissement, indiquant le potentiel d'amélioration (ou de dégradation) des performances thermiques d'un bâtiment en fonction de la nature des composantes de son enveloppe. Cette tendance est encore confirmée par le nombre d'écart type, 4 à 5, qui sépare la valeur maximale de la valeur minimale (Les écart-types enregistrés représentent environ 30% de la moyenne).

Par ailleurs, on peut aussi observer que la moyenne des besoins est systématiquement inférieure à la moyenne arithmétique des deux valeurs extrêmes ; (Min+Max)/2, ce qui pourrait indiquer que le potentiel d'avoir une configuration plus performante que la moyenne est plus élevé que celui d'avoir une configuration moins performante.

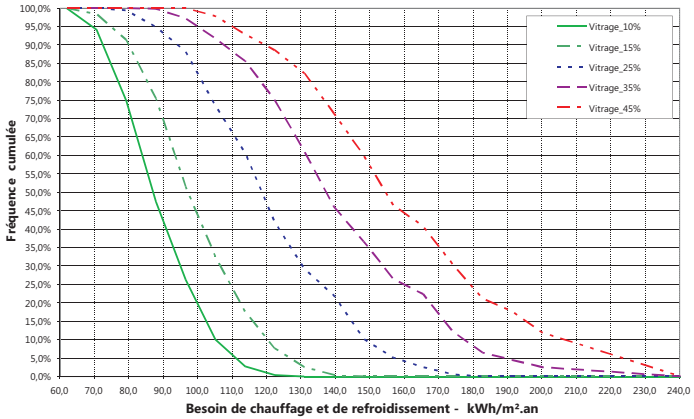
C.1.2. Distribution statistique des résultats des simulations

L'examen de la distribution statistique des résultats a permis d'identifier le critère " Taux de baies vitrées" comme paramètre primordial expliquant la dispersion des résultats. Les graphiques suivants indiquent les courbes de distribution des résultats sur la base du nombre d'améliorations thermiques apportées et sur la base du taux des baies vitrées.

Distribution des besoins énergétiques annuels de chauffage et de refroidissement en fonction du nombre d'amélioration
Toutes les configurations dans les 3 Sites: Jendouba, Tozeur et Tunis

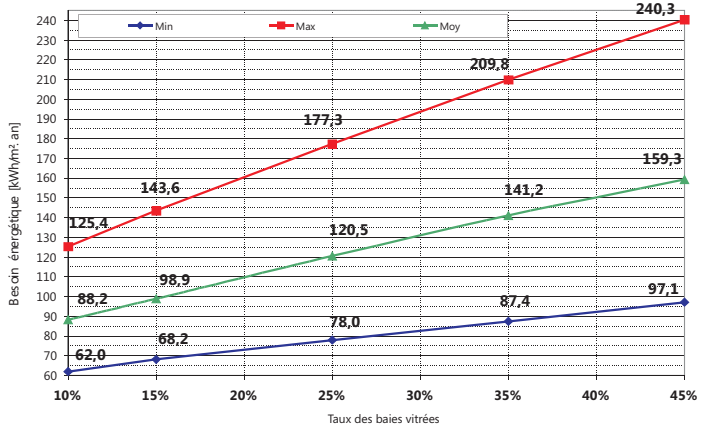


Distribution des besoins énergétiques annuels de chauffage et de refroidissement en fonction du taux des baies vitrées
Toutes les configurations dans les 3 Sites: Jendouba, Tozeur et Tunis



Les courbes de fréquence, développées en fonction du taux des baies vitrées, confirment ce qui a été observé au niveau des résultats individuels et agrégés et indique clairement que ce paramètre est primordial dans le comportement thermique d'un bâtiment à usage de bureaux. Il devrait, par conséquent, figurer parmi les premiers paramètres à maîtriser au niveau de l'enveloppe de ce type de bâtiments. Le graphique suivant présente la moyenne, le minimum et le maximum des besoins thermiques en fonction du taux des baies vitrées (la moyenne relative à chaque taux des baies vitrées représentant l'aire de la courbe de fréquence correspondante)

Besoins annuels d'énergie de chauffage et de refroidissement selon le taux des baies vitrées
Toutes les configurations dans les 3 Sites: Jendouba, Tozeur et Tunis (2550 cas)



D'autre part l'examen des statistiques concernant les résultats groupés par type d'option d'amélioration ou combinaisons de types d'option d'amélioration confirme les résultats observés à l'échelle des impacts individuels de ces options.

C.1.3. Dispersion des résultats des simulations autour de leur moyenne

La moyenne de l'intensité des besoins thermiques annuels issus des résultats des 2550 simulations se situe à environ 122 kWh/m².an. Cette valeur correspond en général à des configurations comportant des taux des baies vitrées au tour de 15% pour des vitrages non performants, ou autour de 25 à 35% pour des vitrages plus performants, et ce même dans le cas où aucune autre amélioration n'est apportée à la configuration de l'enveloppe.

Par ailleurs, il a été constaté que pour tous les types de vitrage étudiés, il existe un ensemble de configurations qui est plus performant que la moyenne, en fonction du taux des baies vitrées retenu. Ce qui permet de proposer l'indexation du niveau de référence de l'échelle des seuils de performance du label sur cette moyenne sans risque d'exclusion d'une technologie particulière.

C.2. Définition des seuils de performance pour l'exigence réglementaire et le label

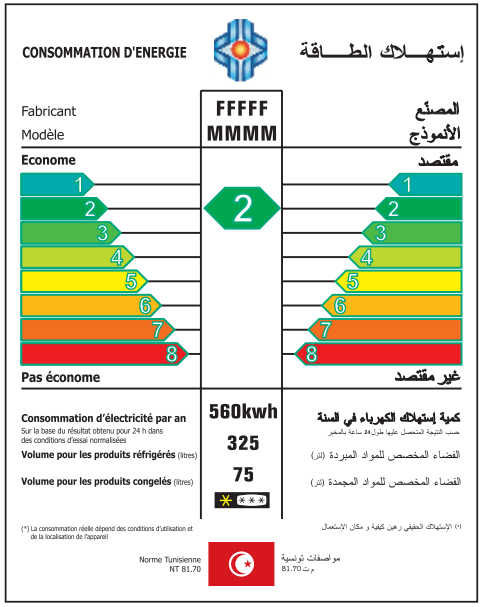
La définition des seuils adéquats des niveaux d'exigences du label à haute performance énergétique des bâtiments et de la règlementation minimale, pour les bâtiments à usage de bureaux, découle de l'analyse technique et technico-économique des résultats (Parties B.2 et B.3), de l'analyse statistique présentée dans la partie C.1, ainsi que de la recherche d'un compromis qui permet, dans cette phase de réglementation minimale, de tenir compte des pratiques courantes dans la construction en Tunisie, ouvrant ainsi la porte vers une évolution des performances qui est tout à fait réalisable.

Deux autres aspects ont été aussi pris en compte dans la définition des seuils de performance du label et de la réglementation minimale :

Le premier étant d'essayer de proposer une formulation du label qui serait similaire au format déjà retenu pour la classification des appareils électroménagers (voir étiquette énergétique du réfrigérateur),et ce afin de projeter le même symbolisme auprès du consommateur en ce qui concerne la performance énergétique, ce qui permettrait de faciliter la " lecture " de la performance énergétique d'un projet chez le public.

Le deuxième aspect concerne la volonté de pouvoir classifier les bâtiments déjà existant par rapport à ce système de label, afin de situer leurs performances énergétiques par rapports aux seuils retenus, et mesurer ainsi l'ampleur de l'effort nécessaire pour les mettre à niveau.

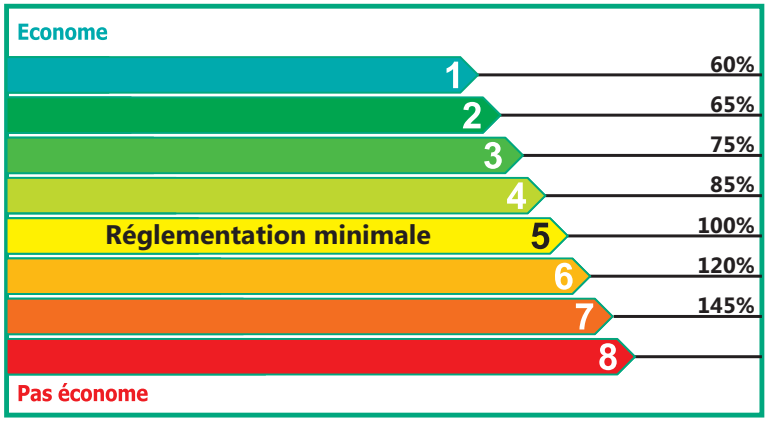
Ce choix a été aussi conforté par les systèmes de labellisation des bâtiments (nouveaux et existants) en cours de mise en place en Europe, et qui se basent sur un canevas similaire.
Le système de seuils proposé définit cinq seuils de performances énergétiques pour les bâtiments neufs, commençant avec le seuil correspondant à l'exigence de la réglementation minimale, et suivi de quatre seuils correspondants aux exigences du label. Le seuil correspondant au niveau le plus performant est définit comme le niveau 1 du label, le seuil le moins performant est définit comme le niveau 5 du label ou réglementation minimale.



Trois autres niveaux de performances sont proposés en dessous du seuil correspondant à la réglementation minimale afin de pouvoir, le cas échéant, classer les bâtiments construits avant la mise en vigueur de la réglementation minimale. Il y aura donc un total de huit classes énergétiques dans le système de classification proposé : 5 Classes de bonnes performances énergétiques pour les bâtiments neufs, complété de 3 Classes de mauvaises performances pour éventuellement classer des bâtiments existants.

Système des seuils des performances énergétiques proposé pour les bâtiments du secteur tertiaire (neufs et existants)

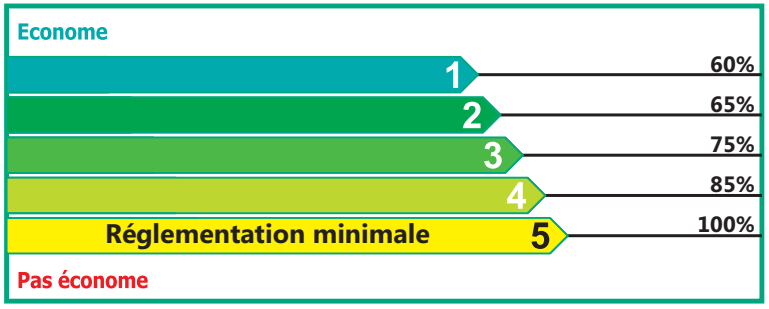
Niveaux des performances énergétiques de l'enveloppe du bâtiment



Niveau des besoins spécifiques d'énergie de chauffage et de refroidissement - [kWh/m².an]

Système des seuils des performances énergétiques proposé pour les bâtiments du secteur tertiaire (neufs et existants) (Les 5 premières classes du système proposé pour les bâtiments)

Niveaux des performances énergétiques de l'enveloppe du bâtiment



Niveau des besoins spécifiques d'énergie de chauffage et de refroidissement - [kWh/m².an]

C.2.1. Formulation générale des seuils du label pour les bâtiments à usage de bureaux

La formulation proposée se base sur la fixation du niveau du seuil d'intensité maximum des besoins thermiques du bâtiment (chauffage + refroidissement) à un niveau de performance à la fois acceptable sur un plan énergétique et réalisable avec un surcoût relativement faible (réglementation minimale). Et la définition des autres niveaux de l'échelle en fonction de ce seuil de référence.
L'examen des conclusions issues de l'analyse statistique des résultats de simulation, ainsi que les surcoûts associés aux différentes options permettant d'atteindre les différents niveaux de performance escomptés ont permis d'identifier le seuil suivant comme un bon point de départ : Ce seuil correspond à la moyenne de toutes les intensités de la somme des besoins thermiques de chauffage et de refroidissement issues des 2550 simulations, augmentée de la moitié d'un écart type ; i.e. Seuil de référence = Moyenne + Ecart type x 10%. L'addition de cette fraction de l'écart type à la moyenne permet de définir un niveau de seuil plus accessible.

Ainsi, les besoins thermiques annuels du bâtiment (chauffage + refroidissement) seront définis comme étant ses besoins énergétiques annuels qui sont liés au confort thermique, durant ses périodes d'occupation, (BECTh). Ces besoins sont égaux à la somme des besoins annuels de chauffage et de refroidissement du bâtiment en question divisée par sa surface totale conditionnée :

$$BECTh \qquad \frac{BECh \quad BE\,\mathrm{Re}\,f}{\mathrm{STC}}$$

$BECTh$	Besoins énergétiques annuels liés au confort thermique d'un bâtiment exprimée en kWh/m².an ;
$BECh$	Besoins énergétiques annuels pour le chauffage exprimés en kWh/an et calculés sur la période d'hiver pour une température intérieure de base :Tch=20°C ;
$BE\,\mathrm{Re}\,f$	Besoins énergétiques annuels pour le refroidissement exprimés en kWh/an et calculés sur la période d'été pour une température intérieure de base :$Tref$=26°C ;
STC	Surface totale conditionnée exprimée en m² et égale à la somme des surfaces des planchers des locaux chauffés en hiver et refroidi en été.

Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

Il est aussi à rappeler que la saison d' " hiver " correspond à la période allant du 15 novembre au 31 mars et la saison d' " été " correspond à la période allant du 1er juin au 30 septembre. Les 5 niveaux du label proposés pour les bâtiments neufs à usage de bureaux correspondent à :

Classe 1 : BECTh ⩽ 60% du seuil maximum règlementation
Classe 2 : 60% < BECTh ⩽ 65% du seuil maximum règlementation
Classe 3 : 65% < BECTh ⩽ 75% du seuil maximum règlementation
Classe 4 : 75% < BECTh ⩽ 85% du seuil maximum règlementation
Classe 5 : 85% < BECTh ⩽ 100% du seuil maximum règlementation

Les 3 autres niveaux destinés à compléter l'échelle pour accommoder les bâtiments existants à usage de bureaux sont les suivants :

Classe 6 : 100% < BECTh ⩽ 120% du seuil maximum règlementation
Classe 7 : 120% < BECTh ⩽ 145% du seuil maximum règlementation
Classe 8 : BECTh > 145% du seuil maximum règlementation

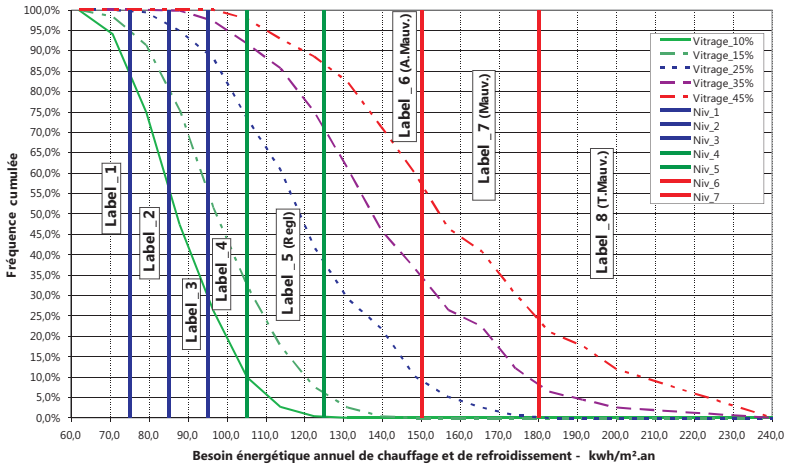
Le tableau suivant présente les différents niveaux de seuils proposés pour le label à haute performance énergétique des bâtiments à usage de bureaux. Les seuils proposés ont été arrondis aux dizaines les plus proches.

Label proposé pour l'enveloppe du bâtiment
Besoins énergétiques annuels de chauffage et de refroidissement - Kwh/m².an
Seuil maximum pour niveau réglementation minimale = Moyenne + Ecart type* 10% = 125

>	⩽	Moyenne Retenue	Maximum calculé	Niveau du label	Coeff. Maximum
180	-		218,8	8 (Très Mauvais)	-
150	180	165	181,3	7 (Mauvais)	145%
125	150	137,5	150,0	6 (Assez Mauvais)	120%
105	125	115	125,0	5 (Règlementation Minimale)	100%
95	105	100	106,3	4 (Classe 4)	85%
85	95	90	93,8	3 (Classe 3)	75%
75	85	80	81,3	2 (Classe 2)	65%
-	75		75,0	1 (Classe 1)	60%

Le graphique suivant présente les niveaux correspondants aux seuils du label par rapport à la distribution des résultats des simulations.

Distribution des besoins énergétiques annuels de chauffage et de refroidissement en fonction du taux des baies vitrées et de l' indication des seuils de Label proposés. Toutes les configurations dans les 3 Sites: Jendouba, Tozeur et Tunis



Extension de la formulation du label pour inclure les performances énergétiques des équipements de chauffage et de refroidissement

Dans la partie B.2.1 de ce document, il a été indiqué qu'il existait une excellente corrélation entre la consommation d'énergie primaire [Thermie/m²] et les besoins thermiques de chauffage et/ou refroidissement [kWh] des bâtiments à usage de bureaux. Des expressions arithmétiques ont été développées pour estimer la consommation à partir des besoins et vise versa. Ces expressions correspondent aux équipements de référence utilisés dans cette étude qui représentent des variantes génériques des équipements couramment rencontrés avec des niveaux de performance énergétiques moyens.

Pour tenir compte de l'utilisation d'équipements à haute performance énergétique, la présente proposition propose d'étendre le système de classification relatif au label de la manière suivante :

Exiger un niveau correspondant à la réglementation minimale au niveau de l'enveloppe ; classe 5

Etablir la classification énergétique du bâtiment sur la base de la somme des consommations d'énergie primaire pour le chauffage et le refroidissement [Thermie/m².an], en utilisant l'échelle de classification suivante :

Label proposé pour l'ensemble "enveloppe + équipement de chauffage et de refroidissement du bâtiment"
Consommations annuelles d'énergie primaire de chauffage et de refroidissement [Thermie/m².an]
(Niveaux correspondants aux exigences sur besoins thermiques de chauffage et de refroidissement arrondis)

>	≤	Moyenne	Niveau du label
175	-		8 (Très Mauvais)
145	175	160,0	7 (Mauvais)
120	145	132,5	6 (Assez Mauvais)
100	120	110,0	5 (Règlementation Minimale)
90	100	95,0	4 (Classe 4)
80	90	85,0	3 (Classe 3)
70	80	75,0	2 (Classe 2)
-	70		1 (Classe 1)

Cette formulation donne la flexibilité au promoteur de choisir de mettre l'accent sur les performances énergétiques des équipements tout en assurant un minimum de performance au niveau de l'enveloppe qui correspondrait au seuil minimal exigé par la réglementation.

Cette formulation permettrait en outre d'effectuer un classement énergétique assez rapide des bâtiments existants sur la base de leurs factures de consommation énergétique.

C.2.2. Proposition d'une formulation simplifiée du label pour les bâtiments à usage de bureaux

Afin de permettre aux différents concepteurs, et autres professionnels du bâtiment, de procéder à l'évaluation des performances énergétiques d'un bâtiment à une étape préliminaire de la phase de conception, mais aussi afin de les aiguiller vers les dispositions à préconiser pour atteindre un seuil de performance ciblé, une formulation simplifiée du label est proposée. Cette formulation se base sur les seuils proposés dans la section précédente, et sur une analyse approfondie des résultats des différentes simulations effectuées au cours de cette étude.

Dans cette formulation simplifiée, désignée ci-après par le terme **approche prescriptive**, la conformité du bâtiment aux exigences du label est examinée en fonction des quatre paramètres suivants de l'enveloppe : Le coefficient d'échange thermique de la toiture, le coefficient d'échange thermique des parties opaques du mur extérieur, le coefficient d'échange thermique du vitrage et son coefficient de transmission solaire globale. Les exigences sur ces quatre paramètres sont formulées en fonction de l'importance des baies vitrées par rapport aux surfaces des murs extérieurs et leurs orientations.
La formulation simplifiée est aussi assortie des limites suivantes :

Le bâtiment doit être de forme géométrique simple.

Des exigences minimales au niveau de l'isolation thermique de la toiture et du mur extérieur: Toiture: U = 0,75 W/m².K (forme de pente légère) et Mur Extérieur: U = 1,10 W/m².K (Double Cloison de 35cm)

L'exclusion d'attribuer certains niveaux de label au-delà d'un certain taux des baies vitrées.

Le domaine d'application de l'approche prescriptive se limite à un taux des baies vitrées = 45%

Ainsi, la conformité aux exigences d'une classe du label est obtenue par la satisfaction d'une combinaison de 4 exigences sur l'enveloppe en fonction du taux global des baies

vitrées (TGBV) des locaux conditionnés du bâtiment. Ce taux global des baies vitrées est classé en 4 catégories selon le rapport entre la surface totale des baies vitrées des locaux conditionnés du bâtiment, et la surface totale brute de l'ensemble de leurs murs extérieurs, ainsi que la répartition du vitrage entre Nord/Sud et Est/Ouest. Ces catégories, qui sont définies ci-après, sont les suivantes : Faible, Moyen, Elevé et Très Elevé.

C.2.2.1. - Définition des niveaux des taux des baies vitrées retenus

Le taux global des baies vitrées (TGBV) des locaux conditionnés du bâtiment est défini par le rapport entre la surface totale de leurs baies vitrées par rapport à la surface totale brute de l'ensemble de leurs murs extérieurs.

$$TGBV = \frac{\text{Surfaces des baies vitrées brutes des murs extérieurs des locaux conditionnés}}{\text{Surfaces brutes des murs extérieurs des locaux conditionnés}}$$

Le taux relatif de baies vitrées pour une orientation donnée est obtenu en remplaçant la quantité dans le numérateur de l'équation ci-dessus par la somme des baies vitrées des parois relatives uniquement à l'orientation considérée. La quantité dans le dénominateur reste inchangée.

Niveau " Faible " de taux des baies vitrées :

Le taux des baies vitrées est défini comme " faible " lorsque le TGBV est inférieur ou égal à 15% et lorsqu'il remplit en même temps la condition suivante sur sa distribution: La somme des taux relatifs des baies vitrées sur les orientations " Est " plus ou moins 45° et les orientations " Ouest " plus ou moins 45°, est inférieure ou égal à 10%.

Dans le cas où cette dernière condition n'est pas remplie, le taux des baies vitrées sera défini comme " moyen ".

Niveau " Moyen " de taux des baies vitrées :

Le taux des baies vitrées pour un bâtiment donné est défini comme "moyen" lorsque le TGBV est supérieur à 15% et inférieur ou égal à 25% et lorsqu'il remplit en même temps la condition suivante sur sa distribution : La somme des taux relatifs des baies vitrées sur les orientations " Est " plus ou moins 45° et les orientations " Ouest "plus ou moins 45°, est inférieure ou égal à 15%.

Dans le cas où cette dernière condition n'est pas remplie, le taux des baies vitrées sera défini comme " élevé ".

Niveau " Elevé " de taux des baies vitrées :

Le taux des baies vitrées pour un bâtiment donné est défini comme " élevé " lorsque le TGBV est supérieur à 25% et inférieur ou égal à 35% et lorsqu'il remplit en même temps la condition suivante sur sa distribution : La somme des taux relatifs des baies vitrées sur les orientations " Est " plus ou moins 45° et les orientations " Ouest " plus ou moins 45°, est inférieure ou égal à 25%.

Dans le cas où cette dernière condition n'est pas remplie, le taux des baies vitrées sera défini comme " très élevé ".

Niveau " Très Elevé " de taux des baies vitrées :

Le taux des baies vitrées pour un bâtiment donné est défini comme " très élevé " lorsque le TGBV est supérieur à 35% et inférieur ou égal à 45% et lorsqu'il remplit en même temps la condition suivante sur sa distribution : La somme des taux relatifs des baies vitrées sur les orientations " Est " plus ou moins 45° et les orientations " Ouest " plus ou moins 45°, est inférieure ou égal à 35%.

Dans le cas où cette dernière condition n'est pas remplie, le taux des baies vitrées est considéré en dehors du champ d'application de l'approche prescriptive.

C.2.2.2. - Spécifications techniques relatives aux transmissions thermiques des parois extérieures du bâtiment et aux caractéristiques optiques de ses baies vitrées pour se conformer aux exigences des différents niveaux de label

Pour chaque classe de label, une ou plusieurs combinaisons d'exigences minimales sont indiquées pour chaque niveau de taux des baies vitrées, les combinaisons concernent les paramètres suivants :

le niveau d'isolation thermique des toitures ($U \leqslant 0{,}75$ W/m².K)

le niveau d'isolation thermique des murs extérieurs ($U \leqslant 1{,}10$ W/m².K)

le niveau d'isolation thermique des vitrages situés sur les parois extérieur, représenté par le rapport [$U_{Vitrage} / U_{Simple\ vitrage}$] ($\leqslant 1$, par définition)

Le coefficient de transmission solaire thermique des vitrages (SC), tel que défini par l'association américaine des ingénieurs de chauffage, de réfrigération et de l'air conditionné "ASHRAE" ([$SC_{Vitrage} / SC_{Simple\ vitrage}$] $\leqslant 1$ par définition).

Les 4 paramètres étant tous exprimés par des ordres de grandeur ne dépassant pas 1,1 ; il est proposé de présenter les exigences relatives à un niveau de label, par des courbes en étoile traçant un ou plusieurs contours à l'intérieur desquels ces exigences sont satisfaites. Ces contours indiquent pour chaque catégorie de taux des baies vitrées, une combinaison de valeurs maximales du coefficient de transmission thermique " U " des toitures, des murs extérieurs et des baies vitrées ainsi que le coefficient de transmission solaire " SC " des baies vitrées, permettant de se conformer aux niveau du label souhaité. Ces contours sont spécifiques à chaque zone climatique réglementaire définie par l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie (ANME).

Dans certains cas ces contours sont uniques pour une classe de label relatif à un certain taux des baies vitrées et une zone climatique, indiquant une limitation des options permises par l'approche prescriptive. Dans d'autre cas, plusieurs contours sont proposés (2 à 3), indiquant qu'il existe un certain nombre d'options équivalentes en terme de performances thermiques qui sont exigibles pour une classe de label relatif à un certain taux des baies vitrées. Lorsqu'il existe plusieurs contours, les paramètres de conformité doivent respecter les limites indiquées par un seul contour à la fois.

Les coefficients de transmission thermique (U) des parois extérieurs sont des moyennes pondérées par type de parois.
Le coefficient global de transmission solaire thermique des vitrages (SC) est calculé de la manière suivante :

$$SC \quad \frac{\sum_i SC_i.BV_i.}{\sum_i BV_i}$$

Avec

SC_i Coefficient de transmission solaire thermique (SC) de la baie vitrée " i " des locaux conditionnés.

BV_i Surface de la baie vitrée " i " des locaux conditionnés.

La sommation sur les baies s'effectue sur toutes les baies vitrées du bâtiment à l'exception des baies orientées au Nord plus ou moins 30°

Les courbes représentant ces contours sont fournies à la fin de ce chapitre pour 3 sites de référence représentant les zones règlementaires définies par l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie (ANME).
Il est à noter que l'intégration des effets de masque dus aux éléments architecturaux de protections solaires peut être réalisée en substituant le coefficient (SC) par un coefficient de transmission solaire équivalent (SC*), reflétant les effets de masque de ces éléments, conformément à l'approche présentée en annexe 1.

C.2.3. Analyse économique des surcoûts relatifs aux classes énergétiques proposées

Afin de permettre d'apprécier les incidences économiques du système de label proposé, une analyse économique des surcoûts associés avec les améliorations constructives nécessaires pour permettre un saut d'au moins une classe énergétique - avec au minimum une conformité à la réglementation minimale (Classe 5)- a été réalisée en considérant les trois approches suivantes :

Une approche basée sur une estimation des rapports des surcoûts dus aux améliorations sur les coûts initiaux sans améliorations (analyse similaire à celle présentée dans la section B.3.3 de ce document).

Une deuxième approche basée sur les temps de retour des surcoûts occasionnés, en se basant sur les économies d'énergie dues aux améliorations apportées à l'enveloppe.

Et une troisième approche basée sur la comparaison du coût moyen de la thermie économisée (déterminé à partir d'un taux d'actualisation des surcoûts sur le cycle de vie), par rapport au coût moyen actuel de l'énergie.

Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

Le tableau suivant présente les statistiques des surcoûts enregistrés pour l'ensemble des niveaux de label proposés pour les bâtiments neufs à usage de bureaux (Classe 1 à 5), d'après les résultats des 2550 cas étudiés dans le cadre de cette étude. Les résultats reproduisent les mêmes tendances présentées dans la section B.3.3 de ce document.

Récapitulation des surcoûts par taux des baies vitrées et par site - Classe énergétique résultante 5

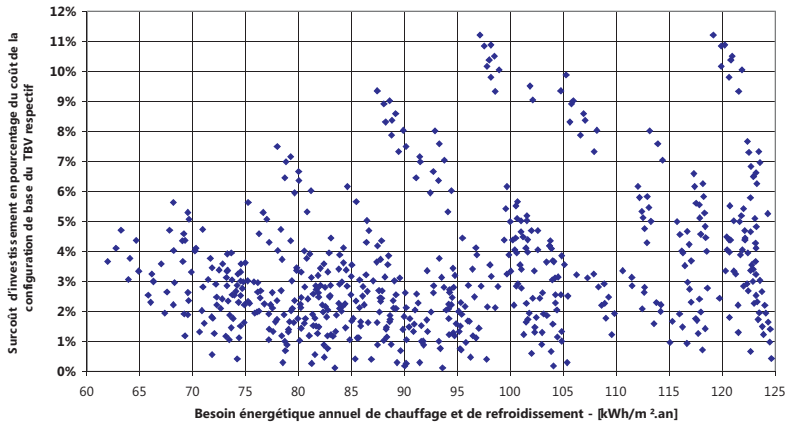
	Configuration de référence = Configuration de base correspondante au taux des baies vitrées indiqué											
	Minimum %			Maximum %			Moyenne %			Ecart Type %		
	Tunis	Jendouba	Tozeur	Tunis	Jendouba	Tozeur	Tunis	Jendouba	Tozeur	Tunis	Jendouba	Tozeur
Ensemble des résultats	0,1	0,3	0,3	11,2	11,2	11,2	3,4	3,3	3,4	2,2	2,1	2,1
TBV = 10%	0,1	0,3	0,3	4,7	4,7	4,7	2,2	2,3	2,3	1,0	0,9	0,9
TBV = 15%	0,2	0,3	0,5	5,6	5,6	5,6	2,5	2,6	2,8	1,2	1,2	1,1
TBV = 25%	0,6	0,6	0,6	7,5	7,5	7,5	3,6	3,8	4,0	1,7	1,8	1,8
TBV = 35%	0,4	1,2	3,4	9,4	9,4	9,4	4,8	6,0	6,7	2,4	2,6	2,1
TBV = 45%	1,5	9,0	5,1	11,2	11,2	11,2	7,1	10,1	9,0	3,0	0,6	2,0
	Configuration de référence = Configuration de base correspondante à un taux des baies vitrées de 25%											
Ensemble des résultats	-2,4	-2,4	-2,4	14,4	14,4	14,4	2,2	1,9	1,9	3,5	3,3	3,3
TBV = 10%	-2,4	-2,4	-2,4	2,3	2,3	2,3	-0,3	-0,3	-0,3	1,0	1,0	1,0
TBV = 15%	-1,6	-1,6	-1,6	4,1	4,1	4,1	0,9	0,9	1,0	1,2	1,2	1,2
TBV = 25%	0,6	0,6	0,6	7,5	7,5	7,5	3,6	3,8	4,0	1,7	1,8	1,8
TBV = 35%	5,0	2,8	5,0	10,9	10,9	10,9	8,1	7,6	8,3	2,0	2,6	2,1
TBV = 45%	12,2	12,2	8,3	14,4	14,4	14,4	13,4	13,3	12,2	0,6	0,6	2,0

NB : Ne sont pris en considération que les surcoûts permettant l'amélioration de la classe énergétique d'au moins une classe.

Les deux figures suivantes présentent, pour Tunis, les différents niveaux de surcoûts relatifs aux niveaux des besoins énergétiques correspondant à l'ensemble des 5 classes de label. La première courbe présente les différents surcoûts évalués sur la base du scénario correspondant à une configuration de référence " relative " (configuration de base relative à chaque taux des baies vitrées), et la deuxième courbe présente les différents surcoût sur la base du scénario correspondant à une configuration de référence " absolue " (configuration de base correspondant à un taux des baies vitrées de 25%). Dans le premier cas, la moyenne des surcoûts est de 3,4% pour Tunis et Tozeur, et de 3,3% pour Jendouba.
Dans le deuxième cas elle est de 2,2% pour Tunis, de 1,9% pour Tozeur et Jendouba.
Les trois autres figures présentent les mêmes résultats pour chacun des 3 sites étudiés, pour chaque taux des baies vitrées, et chacune des deux orientations considérées.

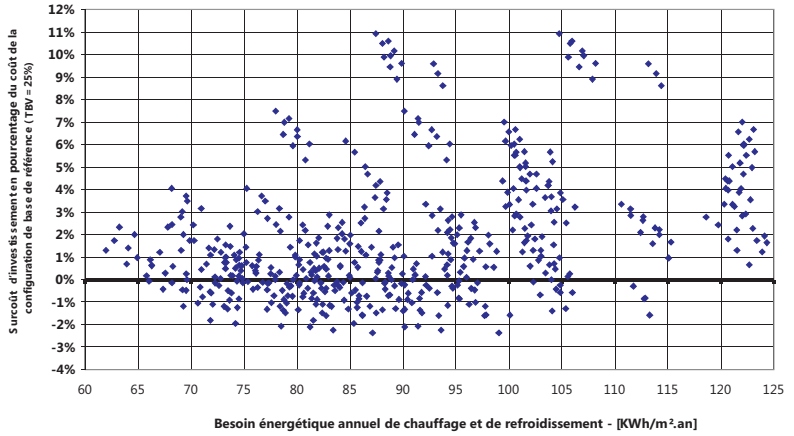
Surcoûts dus aux améliorations apportées à l'enveloppe en fonction des besoins énergétiques

Surcoûts d'investissement en pourcentage du coût de la configuration de base du TBV respectif en fonction des besoins énergétiques annuels de chauffage et de refroidissement



(a) Par rapport au coût de la configuration de base de chaque taux de baies vitrées respectif

Surcoûts d'investissement en pourcentage du coût d'une configuration de base de référence (TBV = 25%) en Fonction des besoins énergétiques annuels de chauffage et de refroidissement



(b) Par rapport au coût de la configuration de base correspondant à 25% de taux de baies vitrées

Nota :

*** Ensemble de tous les résultats pour tunis - classe énergétique résultante ≤ 5**

*** Ne sont pris en considération que les surcoûts permettant l'amélioration de la classe énergétique d'au moins une classe**

Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

Surcoûts dus aux améliorations apportées à l'enveloppe en fonction des besoins énergétiques

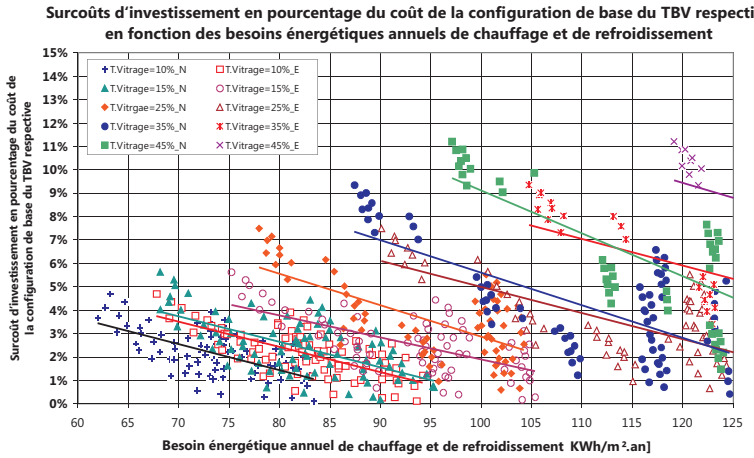


Fig (a)
TUNIS

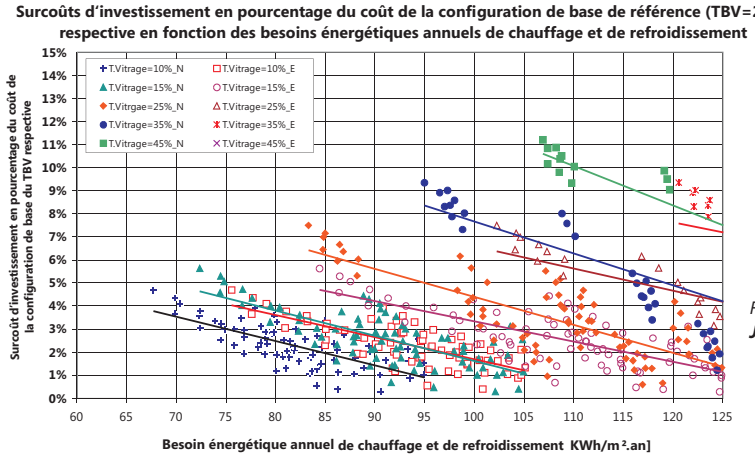


Fig (b)
JENDOUBA

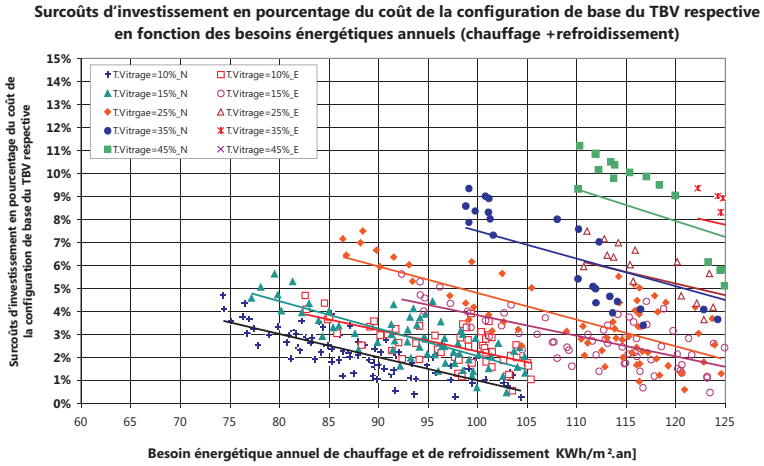


Fig (C)
TOZEUR

Nota :

* Résultats présentés par orientation et par taux de baies vitrées (classe 5 ou mieux)
* Ne sont pris en considération que les configurations associées à la classe énergétique 5 ou mieux, et dans le cas où le surcoût permet le saut d'au moins d'une classe.

Temps de retour des surcoûts associés au système de label et coût de la thermie économisée :

L'appréciation de l'opportunité économique associée au système de label proposé est basée sur les deux critères suivants :

L'examen des temps de retour des surcoûts occasionnés,
Et la comparaison du coût moyen, sur le cycle de vie du projet, de la thermie économisée par rapport au coût moyen actuel de l'énergie; examen du ratios de ces deux coûts.

Le temps de retour est calculé en divisant le montant de l'investissement relatif au surcoût des améliorations réalisées sur le montant relatif aux coûts de l'énergie économisée.

Le coût moyen, sur le cycle de vie du projet, de la thermie économisée est calculé en se basant sur le montant de l'investissement relatif au surcoût des améliorations réalisées, un taux d'actualisation de 7% et une durée du projet de 30 ans.

Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

L'analyse des résultats a permis de constater les tendances suivantes :

Pour Jendouba :

Prés de 24% des cas avaient des temps de retour ≤10 ans et prés de 70% des cas avaient des temps de retour ≤15 ans (ces temps de retour sont à comparer avec la durée de vie d'un bâtiment; un minimum de 50 ans). Cette tendance est aussi retrouvée au sein des cas relatifs à chaque classe énergétique (à l'exception de la classe 1 où il n'existe aucun cas ayant un temps de retour ≤10 ans).
Le ratio du coût moyen, sur le cycle de vie du projet, de la thermie économisée par rapport au coût moyen actuel de l'énergie est ≤0,95 dans plus de 60% des cas et ≤ 1 dans prés de 70% des cas. Cette tendance est aussi retrouvée au sein des cas relatifs à chaque classe énergétique (à l'exception de la classe 1, où ces parts sont respectivement de 27% et 53%).

Pour Tozeur :

Prés de 35% des cas avaient des temps de retour ≤10 ans et prés de 83% des cas avaient des temps de retour ≤ 15 ans. Cet te tendance est aussi retrouvée au sein des cas relatifs à chaque classe énergétique (à l'exception de la classe 1 où il n'existe aucun cas ayant un temps de retour ≤ 10 ans).
Le ratio du coût moyen, sur le cycle de vie du projet, de la thermie économisée par rapport au coût moyen actuel de l'énergie est ≤ 0,95 dans plus de 76% des cas et ≤ 1 dans prés de 83% des cas. Cette tendance est aussi retrouvée au sein des cas relatifs à chaque classe énergétique (à l'exception de la classe 1, où ces parts sont respectivement de 33% et 67%).

Pour Tunis :

Prés de 21% des cas avaient des temps de retour ≤10 ans et prés de 55% des cas avaient des temps de retour ≤ 15 ans. Cette tendance est aussi retrouvée au sein des cas relatifs à chaque classe énergétique (à l'exception de la classe 1, où ces parts sont respectivement de 11% et 45%).
Le ratio du coût moyen, sur le cycle de vie du projet, de la thermie économisée par rapport au coût moyen actuel de l'énergie est ≤0,95 dans 47% des cas et ≤1 dans prés de 54% des cas. Cette tendance est aussi retrouvée au sein des cas relatifs à chaque classe énergétique (à l'exception de la classe 1, où ces parts sont respectivement de 33% et 40%).

Des graphiques représentant des extraits des résultats de l'analyse économique, pour chacun des 3 sites considérés, sont présentées dans les pages suivantes. Ces graphiques illustrent, en fonction du taux et de l'orientation des baies vitrées les paramètres suivants :

- Surcoûts occasionnés par les améliorations apportées à l'enveloppe pour atteindre les classe 3 et 5,
- Temps de retour sur les investissements relatifs aux surcoûts associés aux améliorations citées, pour atteindre les classe 3 et 5,
- Ratios du coût moyen, sur le cycle de vie du projet, de la thermie économisée par rapport au coût moyen actuel de l'énergie, et ce pour les classe 3 et 5,
- Economies d'énergie escomptées en fonction des surcoûts occasionnés, pour atteindre les classe 3 et 5.

En conclusion, on peut affirmer que les surcoûts associés au système de label proposé restent dans des proportions abordables dans la plus part des cas, et qu'en se basant sur des critères économiques à l'échelle de l'intérêt public, ce système de label propose, dans la majorité des situations, des solutions tout à fait viables d'un point de vue économique. Toutefois, à l'échelle des opérateurs privés un système incitatif serait nécessaire pour permettre des transformations significatives dans le marché, même s'il existe une multitude de configurations très intéressantes d'un point de vue économique, si certains paramètres de la conception architecturale sont maîtrisés convenablement.

Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

Surcoûts d'investissement en pourcentage du coût de la configuration de base du TBV respective en fonction des besoins énergétiques annuels de chauffage et de refroidissement
Site de référence : TUNIS

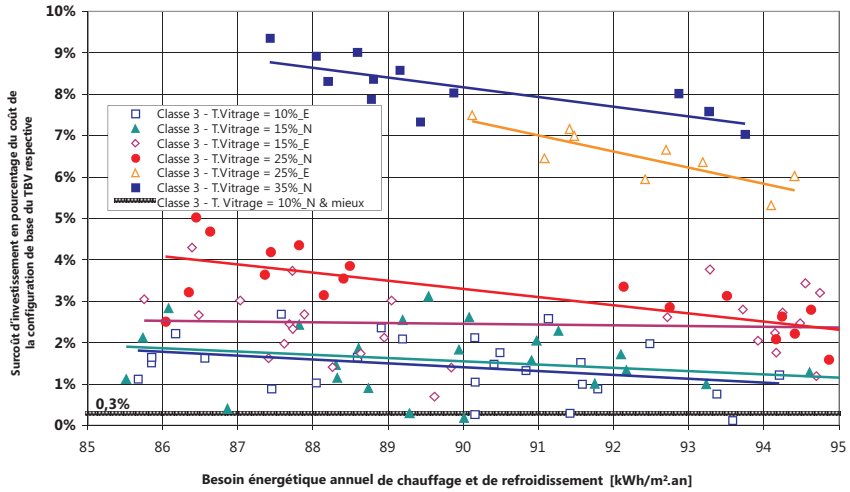


Fig (a)
CLASSE 3

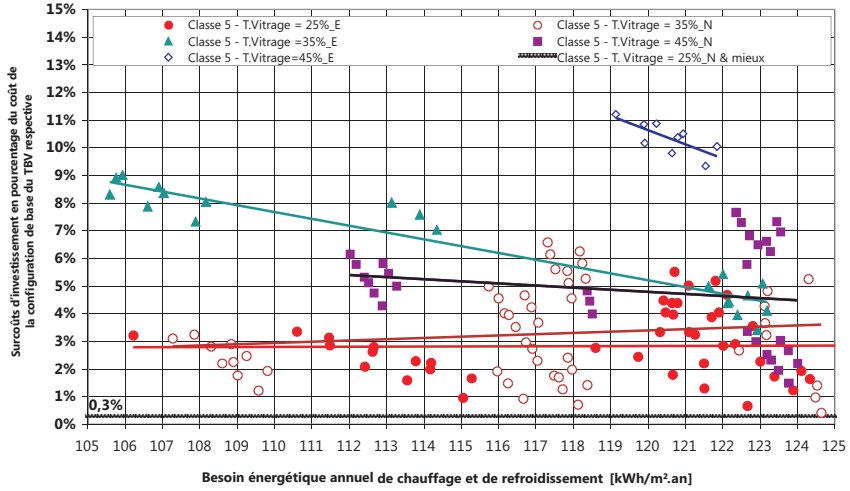


Fig (b)
CLASSE 5

Temps de retour sur surcoûts d'investissement par rapport à la configuration de base du TBV respective
Site de référence : TUNIS

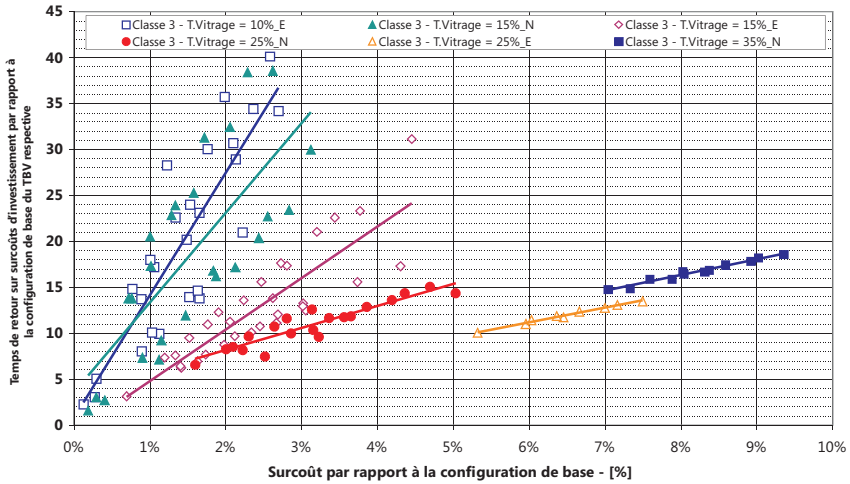


Fig (a)
CLASSE 3
(Toutes les configurations examinées)

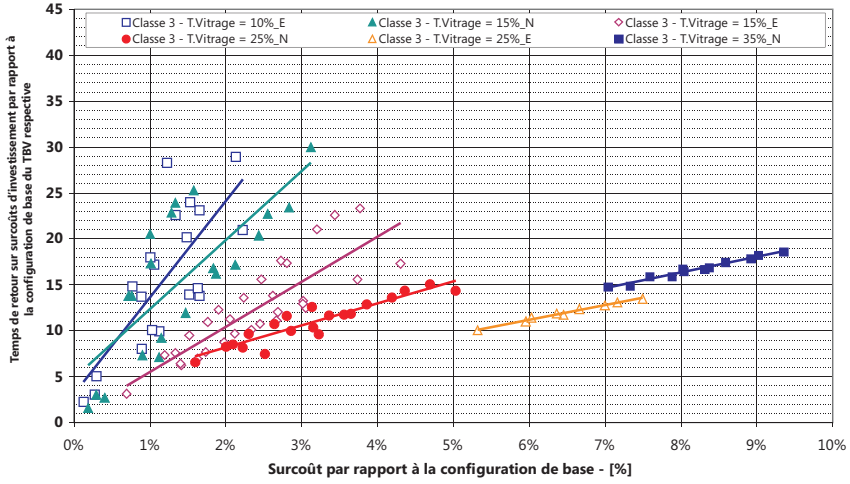


Fig (b)
CLASSE 3
(Configurations avec toiture isolée uniquement)

Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

Rapport du coût de la thermie economisée sur le coût de la thermie de la configuration de Base du TBV respective
Site de référence : TUNIS

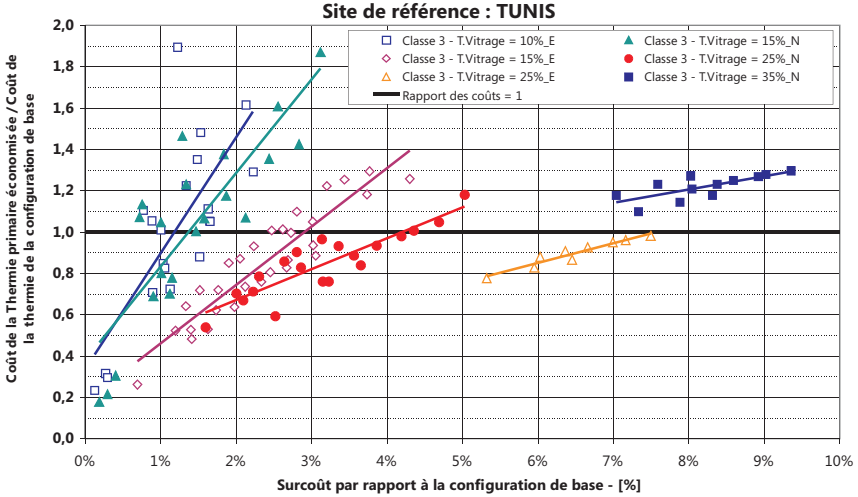


***Fig** (a)*
CLASSE 3
(Ensemble des configurations avec toiture isolée) (taux d'actualisation des surcoûts = 7%)

Réduction de la consommation énergétique primaire annuelle de chauffage et de refroidissement en fonction des surcoûts par rapport à la configuration de base du TBV respective
Site de référence : TUNIS

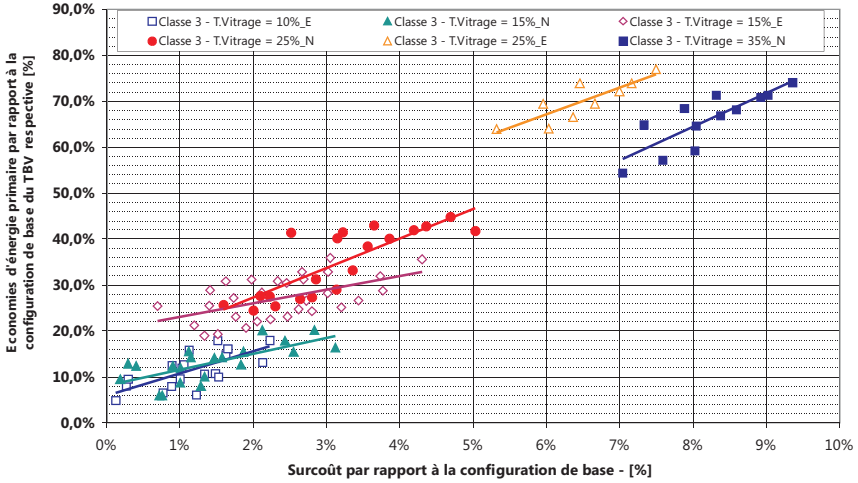


***Fig** (b)*
CLASSE 3
(Ensemble des configurations avec toiture isolée)

Temps de retour sur surcoûts d'investissement par rapport à la configuration de base du TBV respective
Site de référence : TUNIS

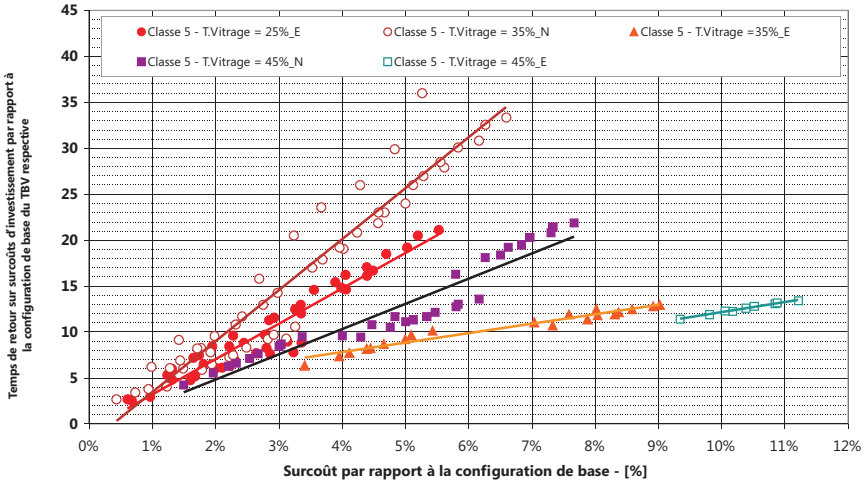


***Fig** (a)*
CLASSE 5
(Toutes les configurations examinées)

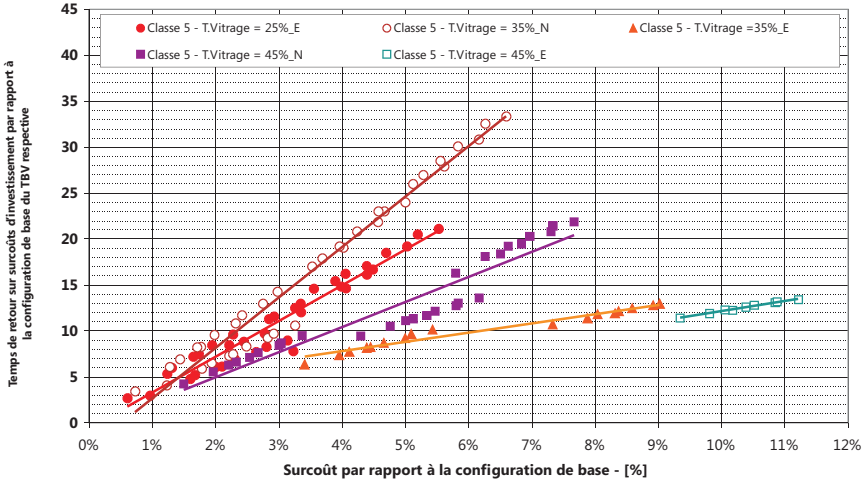


***Fig** (b)*
CLASSE 5
(Configurations avec toiture isolée uniquement)

Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

Rapport du coût de la thermie economisée sur le coût de la thermie de la configuration de base du TBV respective
Site de référence : TUNIS

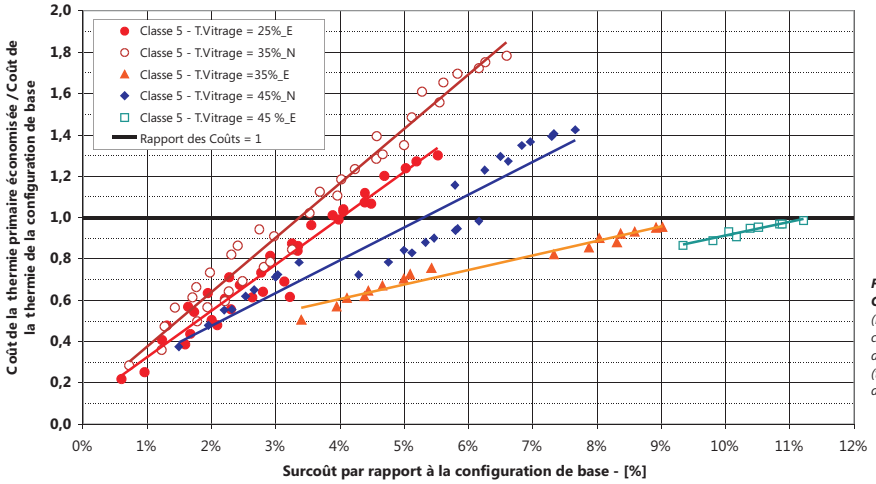


***Fig** (a)*
CLASSE 5
(Ensemble des configurations avec toiture isolée) (taux d'actualisation des surcoûts = 7%)

Réduction de la consommation énergétique primaire annuelle de chauffage et de refroidissement en fonction des surcoûts par rapport à la configuration de base du TBV respective
Site de référence : TUNIS

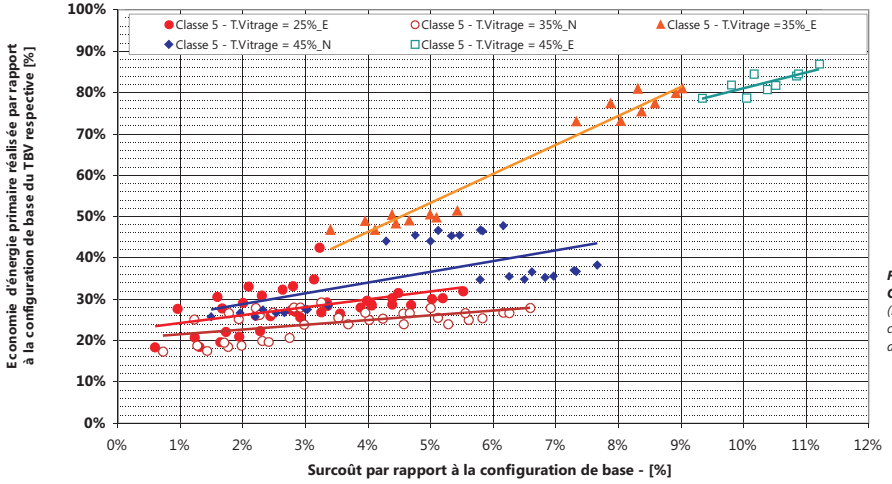


***Fig** (b)*
CLASSE 5
(Ensemble des configurations avec toiture isolée)

Surcoûts d'investissement en pourcentage du coût de la configuration de base du TBV respective en fonction des intensités des besoins énergétiques annuels de chauffage et de refroidissement
Site de référence : JENDOUBA

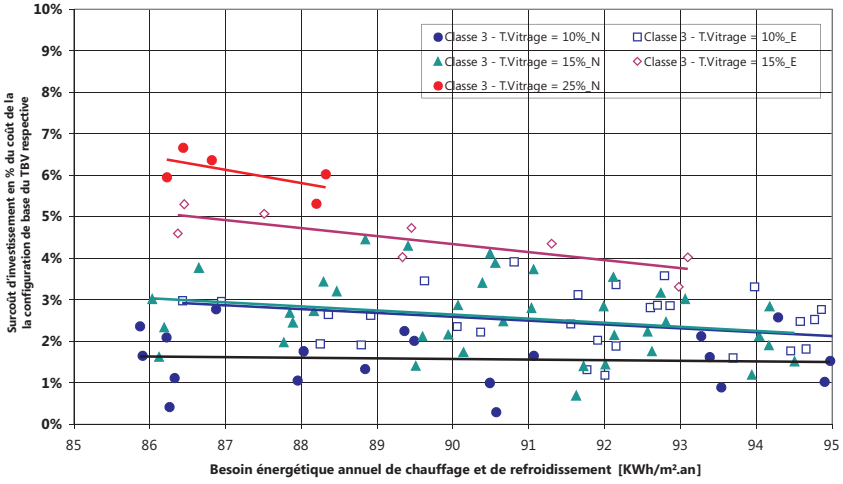


***Fig** (a)*
CLASSE 3

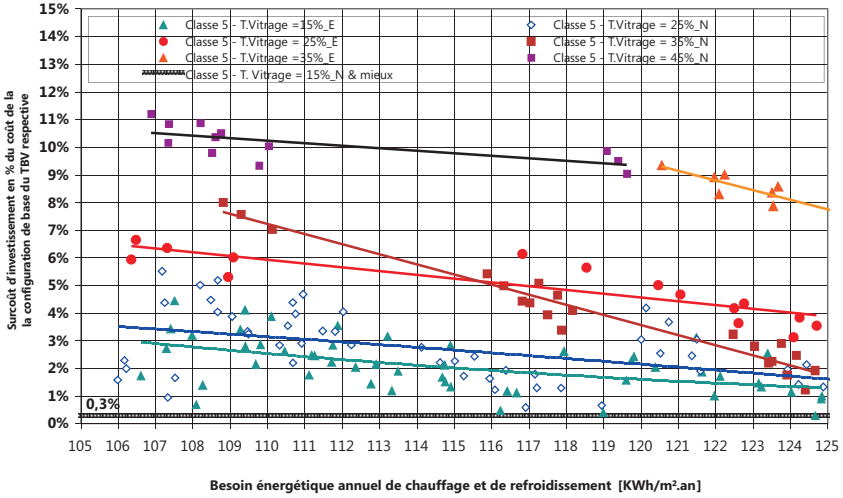


***Fig** (b)*
CLASSE 5

Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

Temps de retour sur surcoûts d'investissement par rapport à la configuration de base du TBV respective Site de référence : JENDOUBA

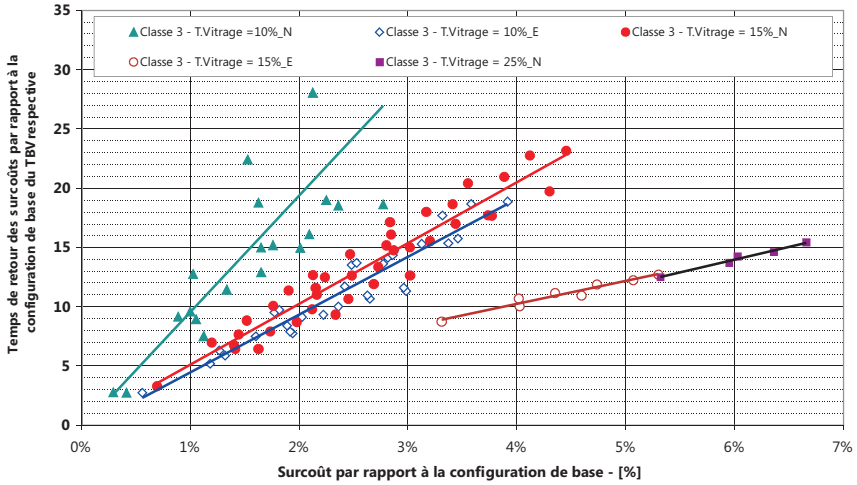


***Fig** (a)*
CLASSE 3
(Toutes les configurations examinées)

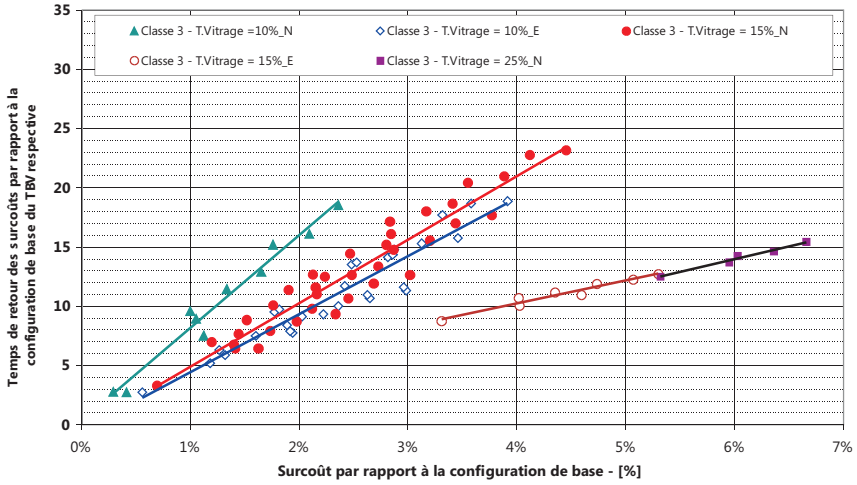


***Fig** (b)*
CLASSE 3
(Configurations avec toiture isolée uniquement)

Rapport du coût de la thermie economisée sur le coût de la thermie de la configuration de Base en fonction des besoins énergétiques annuels de chauffage et de refroidissement Site de référence : JENDOUBA

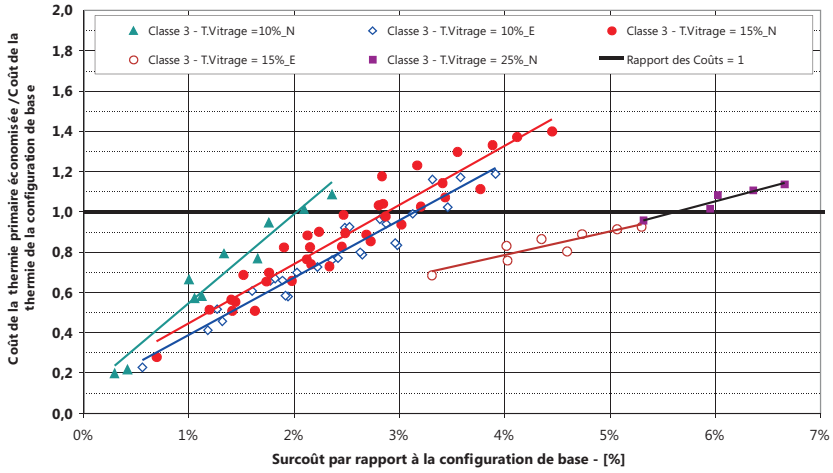
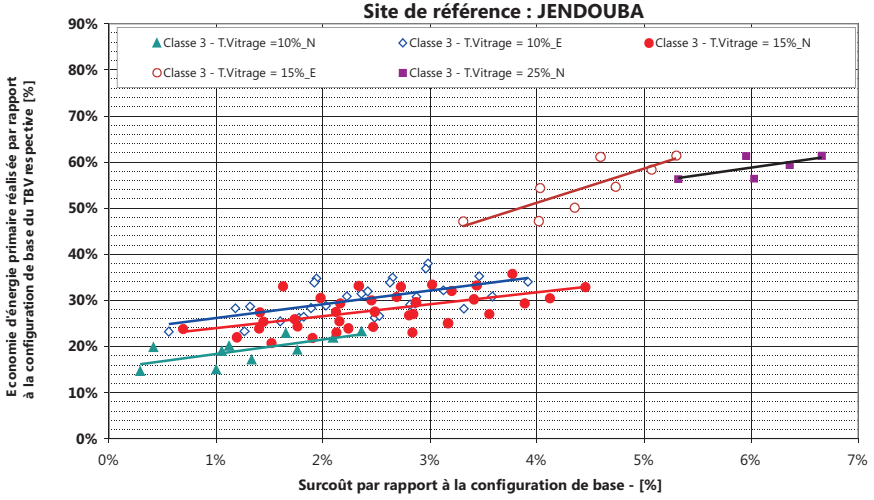


***Fig** (a)*
CLASSE 3

Réduction de la consommation énergétique primaire annuelle de chauffage et de refroidissement en fonction des surcoûts par rapport à la configuration de base du TBV respective Site de référence : JENDOUBA



CLASSE 3
Ensemble des configurations avec toiture isolée)

Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

Temps de retour sur surcoûts d'investissement par rapport à la configuration de base du TBV respective
Site de référence : JENDOUBA

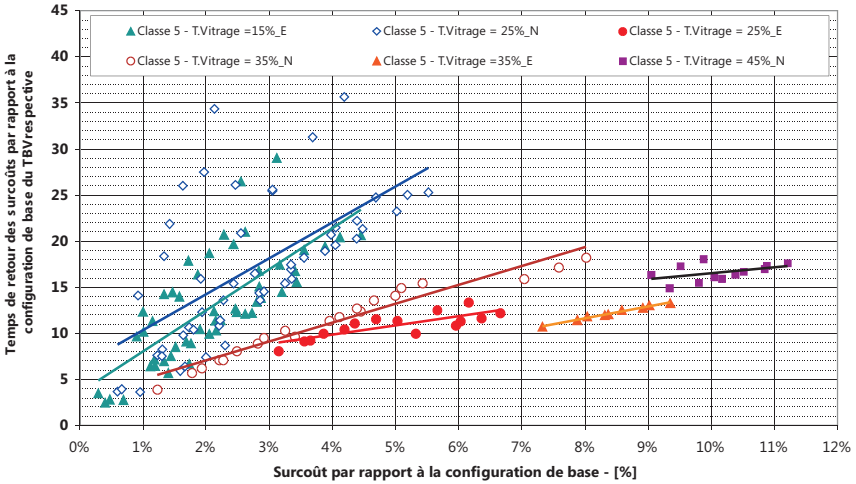
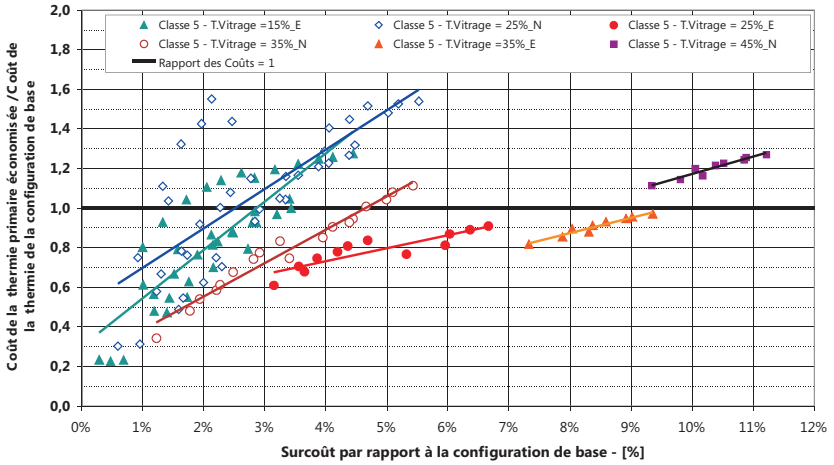


***Fig** (a)*
CLASSE 5
(Toutes les configurations examinées)

Rapport du coût de la thermie economisée sur le coût de la thermie de la configuration de base en fonction des besoins énergétiques annuels de chauffage et de refroidissement
Site de référence : JENDOUBA



CLASSE 5
(Configurations avec toiture isolée)

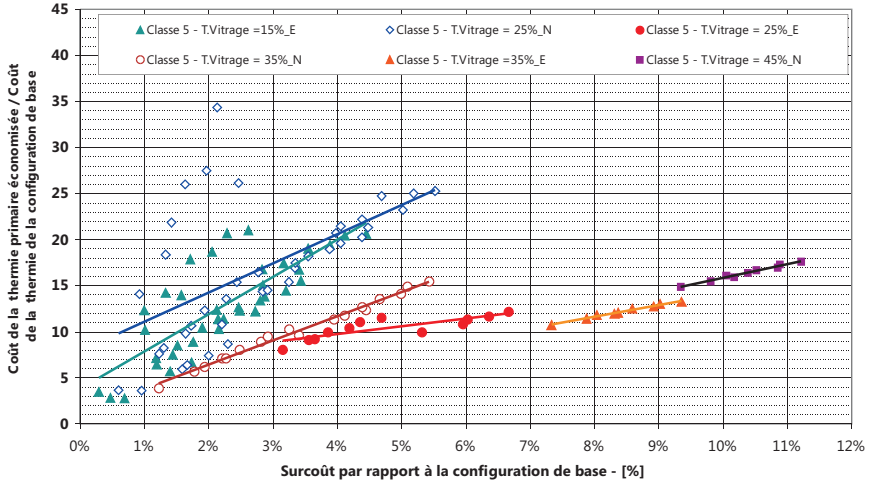
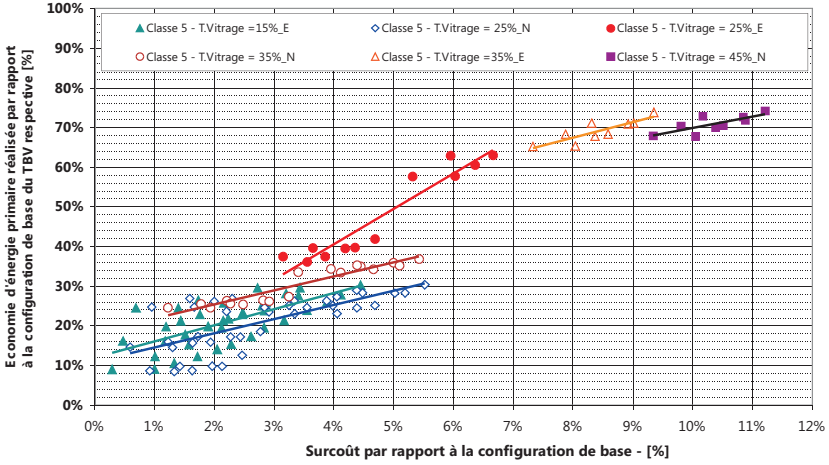


***Fig** (b)*
CLASSE 5
Configurations avec toiture isolée uniquement)

Réduction de la consommation énergétique primaire annuelle de chauffage et de refroidissement en fonction des surcoûts par rapport à la configuration de base du TBV respective
Site de référence : JENDOUBA



CLASSE 5
(configurations avec toiture isolée)

Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

Surcoûts d'investissement en pourcentage du coût de la configuration de base du TBV respective en fonction des besoins énergétiques annuels de chauffage et de refroidissement
Site de référence : TOZEUR

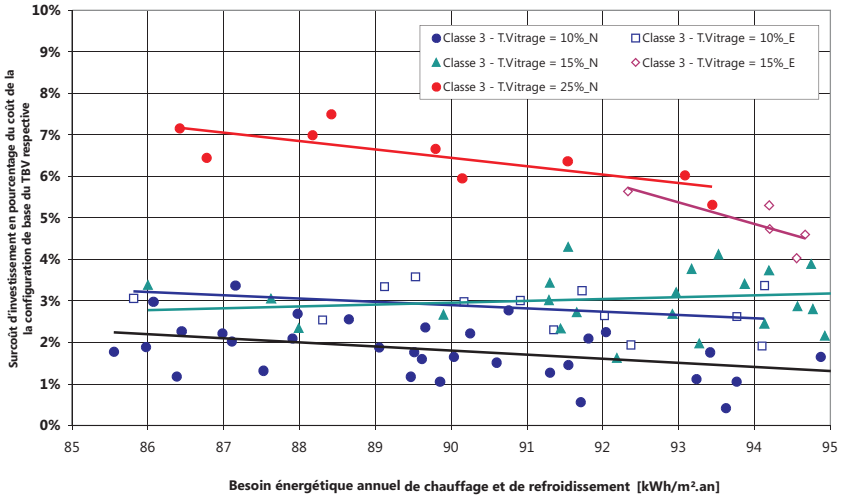


***Fig** (a)*
CLASSE 3

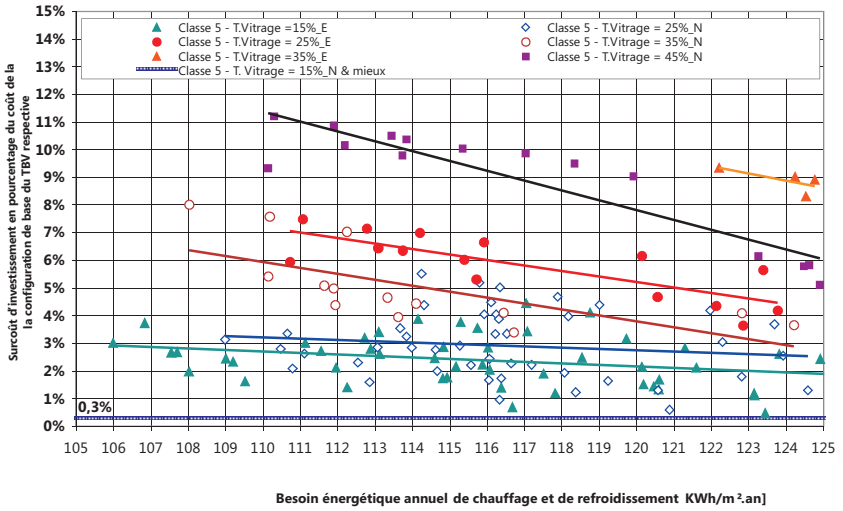


***Fig** (b)*
CLASSE 5
[Réglementation minimale]

Temps de retour sur surcoûts d'investissement par rapport à la configuration de base du TBV respective
Site de référence : TOZEUR

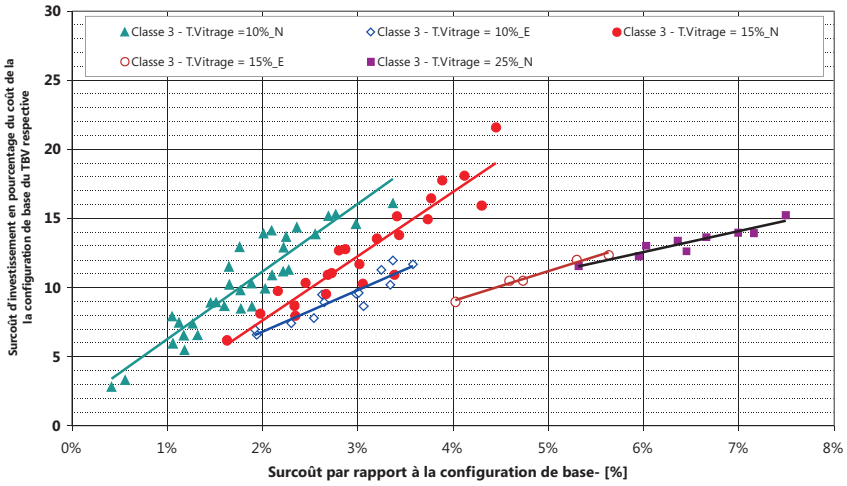


***Fig** (a)*
CLASSE 3
(Toutes les configurations examinées)

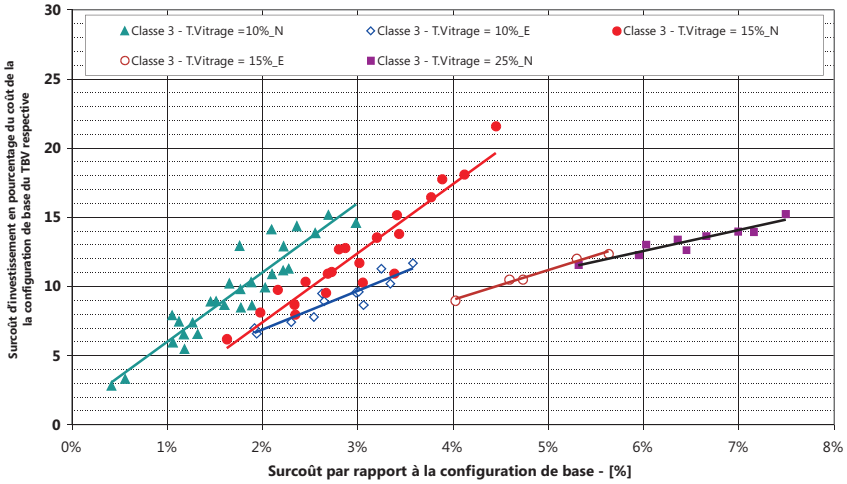
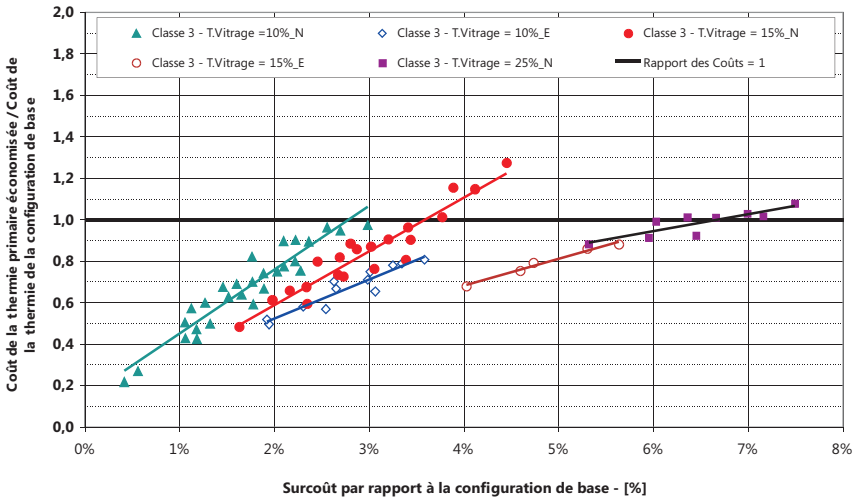


***Fig** (b)*
CLASSE 5
(Configurations avec toiture isolée uniquement)

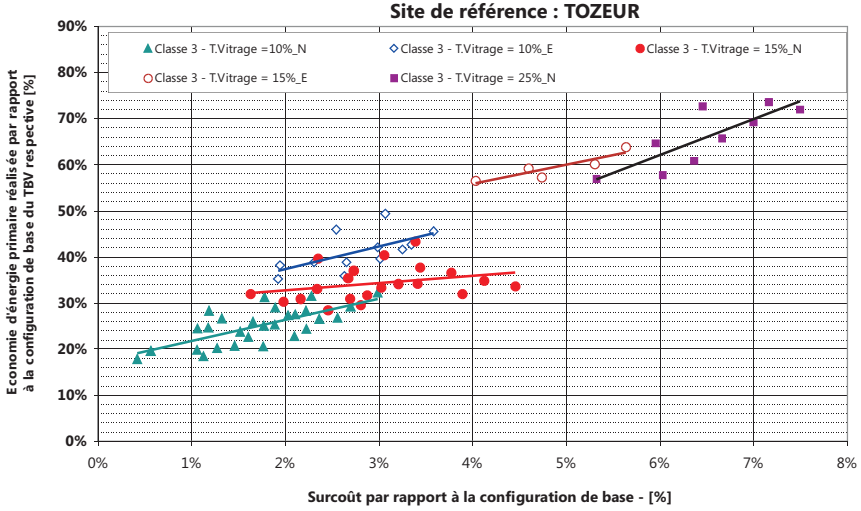
Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

Rapport du coût de la thermie economisée sur le coût de la thermie de la configuration de base du TBV respective
Site de référence : TOZEUR



CLASSE 3
(Ensemble des configurations avec toiture isolée)
(taux d'actualisation des surcoûts = 7%)

Réduction de la consommation énergétique primaire annuelle de chauffage et de refroidissement en fonction des surcoûts par rapport à la configuration de base du TBV respective
Site de référence : TOZEUR



CLASSE 3
(Ensemble des configurations avec toiture isolée)

Temps de retour sur surcoûts d'investissement par rapport à la configuration de base du TBV respective
Site de référence : TOZEUR

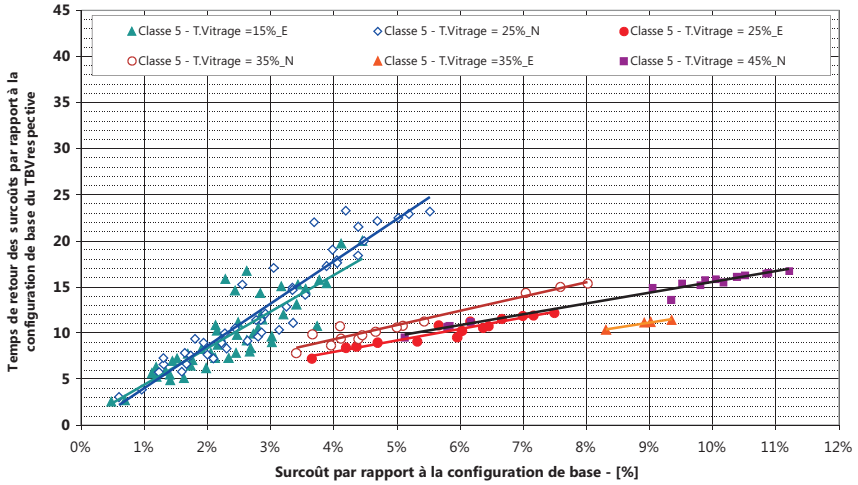


***Fig** (a)*
CLASSE 5
(Configurations avec toiture isolée)

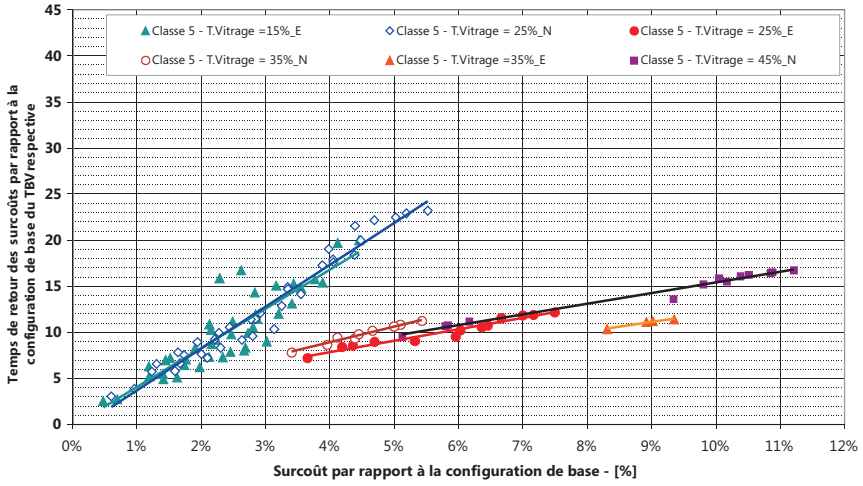
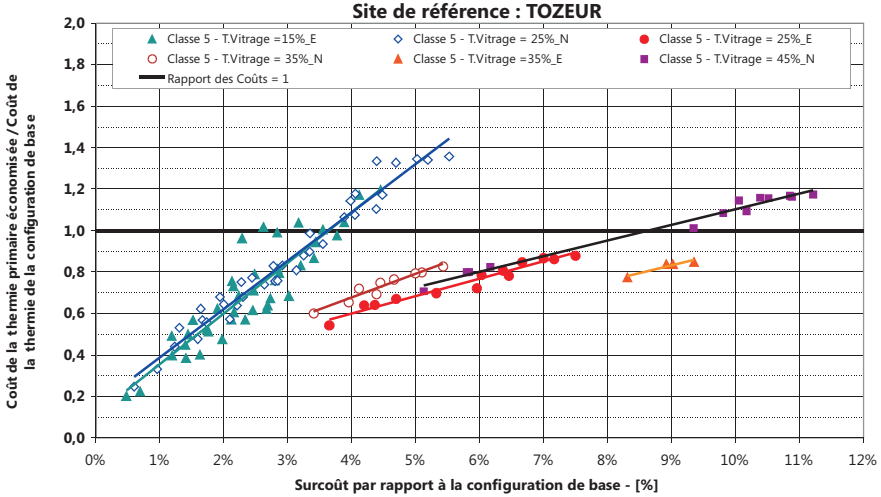


***Fig** (b)*
CLASSE 5
(Configurations avec toiture isolée)

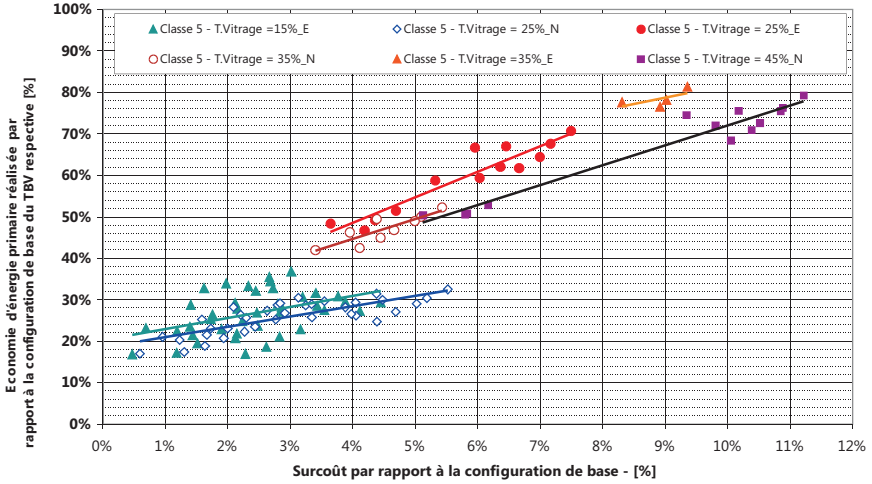
Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

Rapport du coût de la thermie economisée sur le coût de la thermie de la configuration de base du TBV respective
Site de référence : TOZEUR



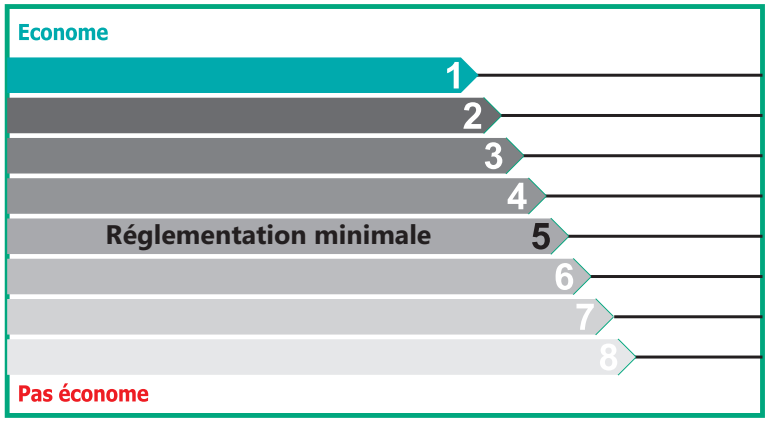
CLASSE 5
(Configurations avec toiture isolée)
(taux d'actualisation des surcoûts = 7%)

Réduction de la consommation énergétique primaire annuelle de chauffage et de refroidissement en fonction des surcoûts par rapport à la configuration de base du TBV respective
Site de référence : TOZEUR



CLASSE 5
(Configurationss avec toiture isolée)

Exigences du Label pour la classe 1



Besoins énergétiques annuels :

[Chauffage + Refroidissement] ≤ 75 kWh/m².an

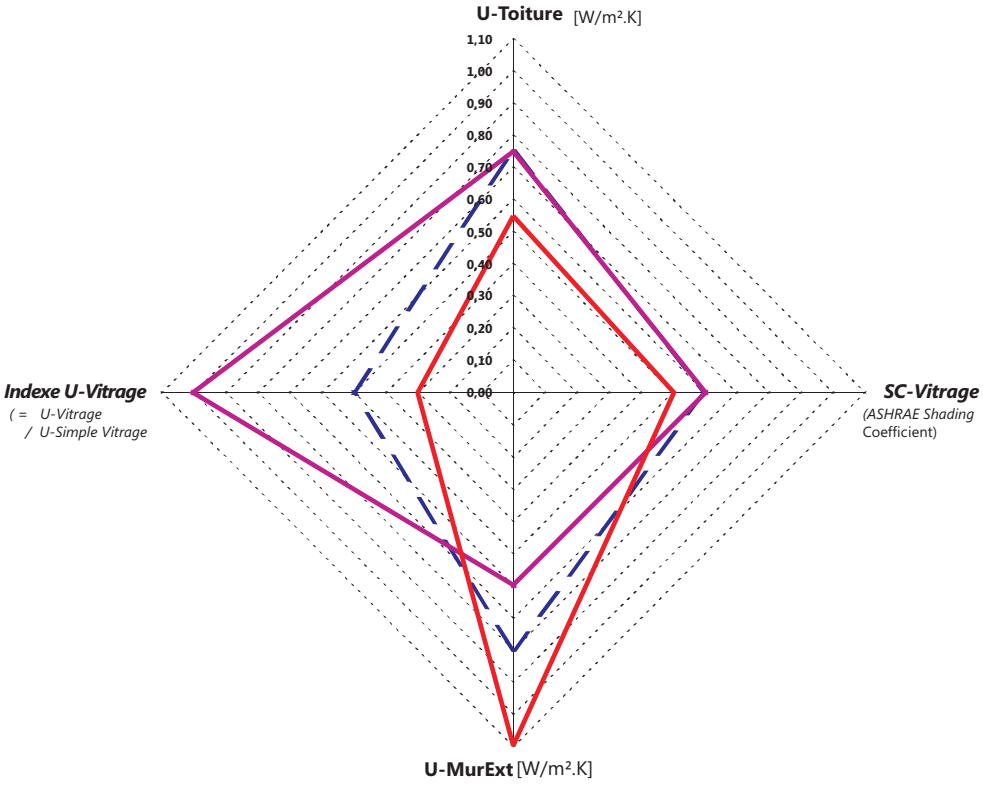
Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

Zone Réglementaire ZT1 : RT1, RT2, RT3 et RT4

RT1 *(Gouvernorat de Bizerte),*
RT2 *(Gouvernorats de l'Ariana, Ben Arous, Manouba, Nabeul, Tunis et Zaghouan),*
RT3 *(Gouvernorats de Mahdia, Monastir, Sfax, et Sousse)*
RT4 *(Gouvernorats de Gabès, et Medenine - sauf Délégation de Matmata et Délégation de Médenine)*

Station de Référence : Tunis (RT2)

CLASSE 1 - EXIGENCES DU LABEL POUR TUNIS - TBV = FAIBLE



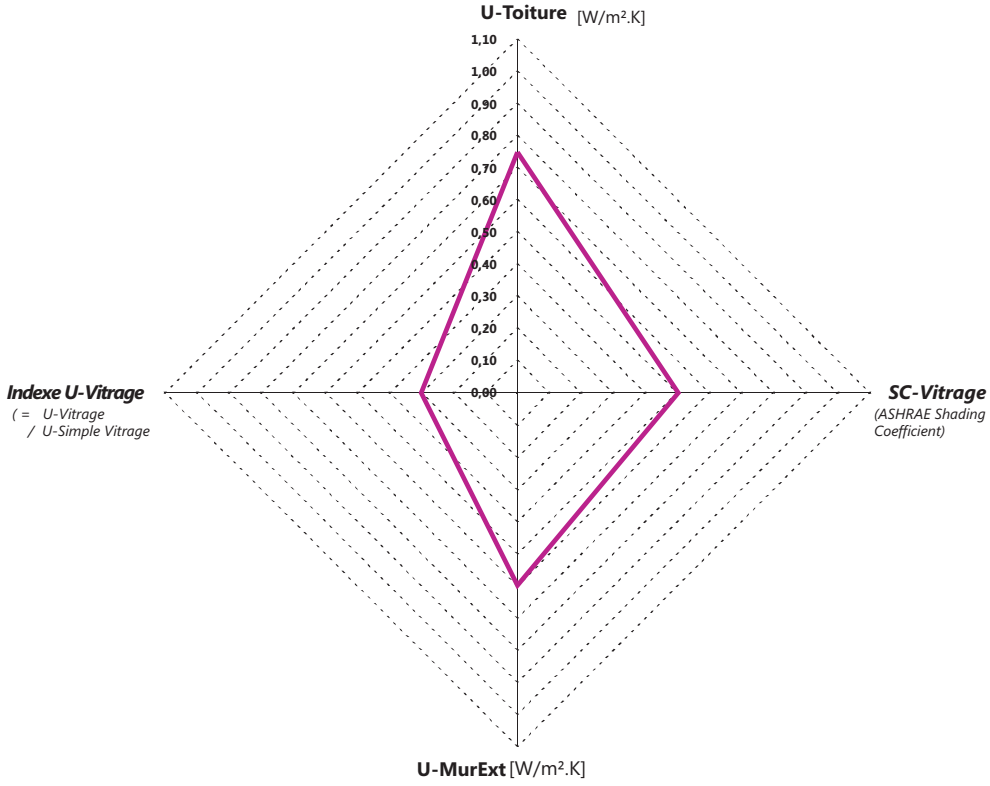
ZONE ZT1 : La Classe 1 ne peut pas être attribuée par l'approche prescriptive au delà d'un taux des baies vitrées "FAIBLE".

Zone Réglementaire ZT2 : RT5, RT6, RT7 et RT8

RT5 *(Gouvernorats de Béja, et Jendouba)*
RT6 *(Gouvernorats de Siliana et le Kef)*
RT7 *(Gouvernorats de Kairouan, Kasserine, et Sidi Bouzid)*
RT8 *(Gouvernorat de Gafsa)*

Station de référence : Jendouba (RT5)

CLASSE 1 - EXIGENCES DU LABEL POUR JENDOUBA - TBV = FAIBLE



ZONE ZT2 : La Classe 1 ne peut pas être attribuée par l'approche prescriptive au delà d'un taux des baies vitrées "FAIBLE".

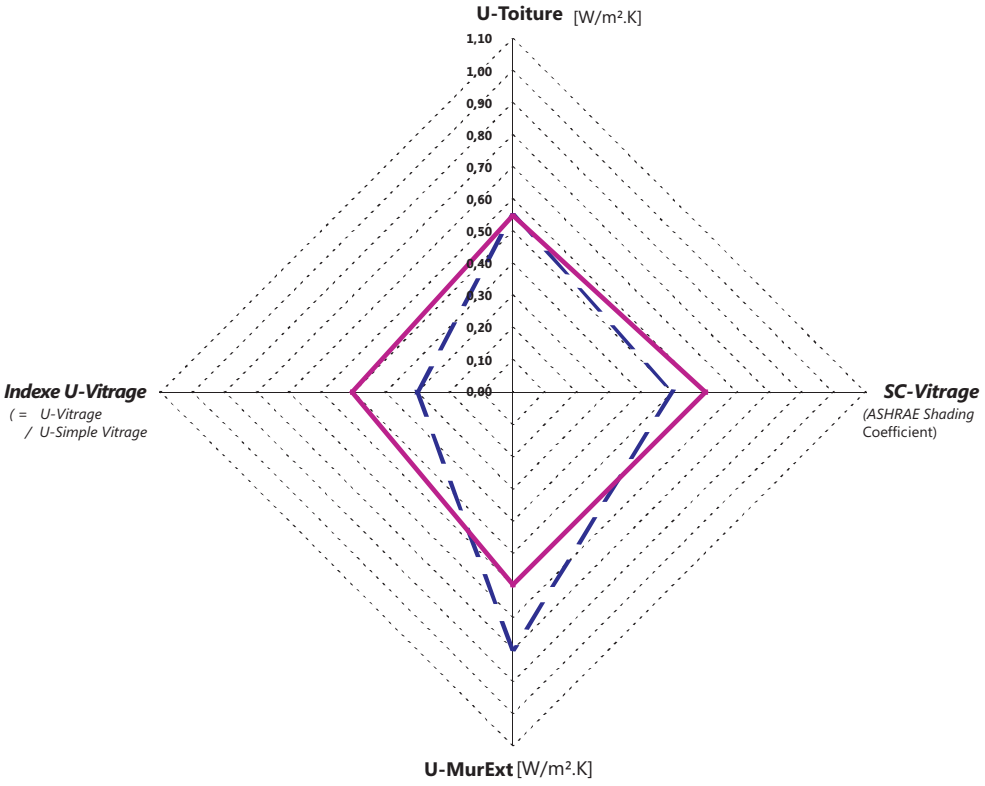
Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

Zone Réglementaire ZT3 :

RT9 *(Gouvernorats de Kébili, et Tozeur)*
RT10 *(Gouvernorat de Tataouine, Délégation de Matmata et Délégation de Médenine)*

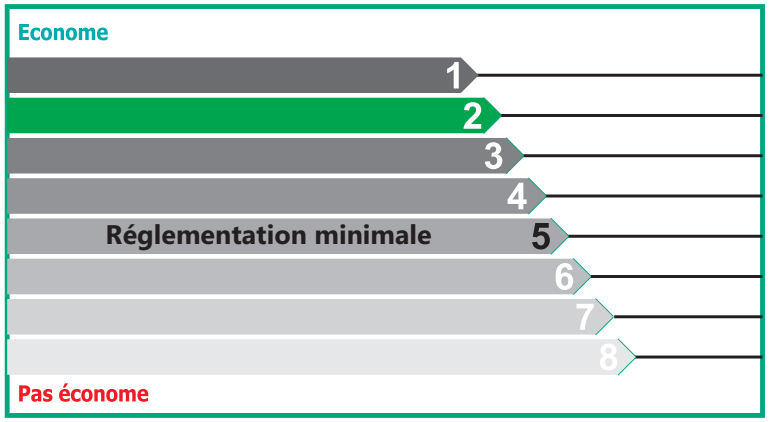
Station de Référence : Tozeur (RT9)

CLASSE 1 - EXIGENCES DU LABEL POUR TOZEUR - TBV = FAIBLE



ZONE ZT3 : La Classe 1 ne peut pas être attribuée par l'approche prescriptive au delà d'un taux des baies vitrées "FAIBLE".

Exigences du Label pour la classe 2



Besoins énergétiques annuels :

70 kWh/m².an < [Chauffage + Refroidissement] ≤ 85 kWh/m².an

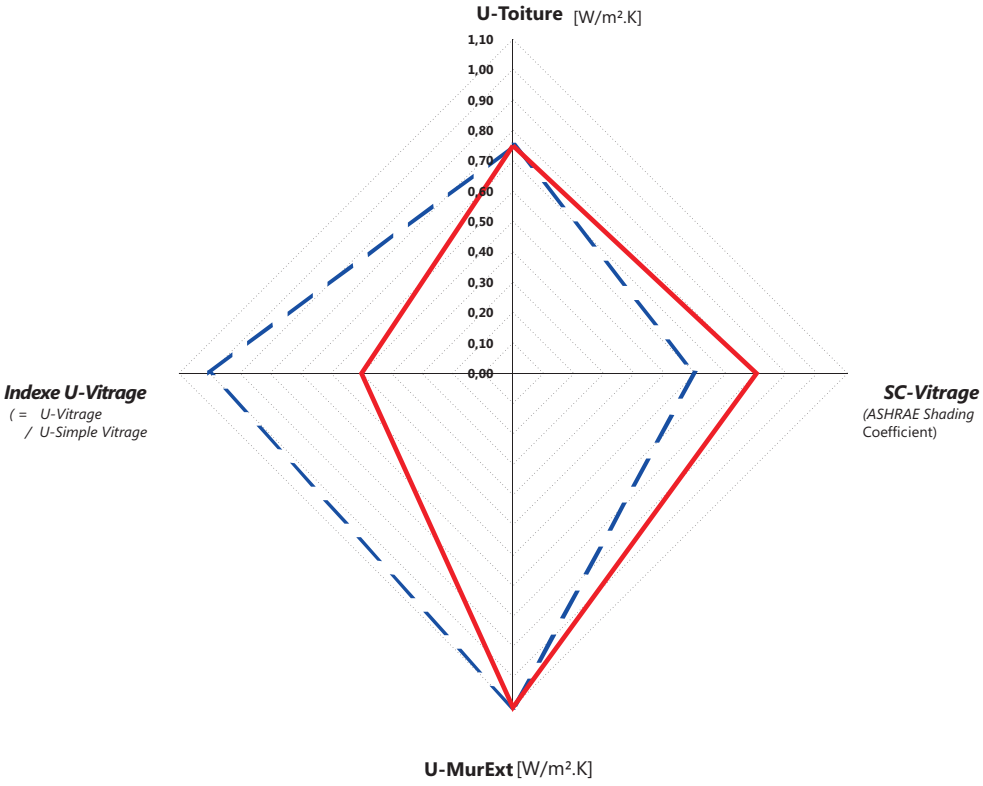
Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

Zone Réglementaire ZT1 : RT1, RT2, RT3 et RT4

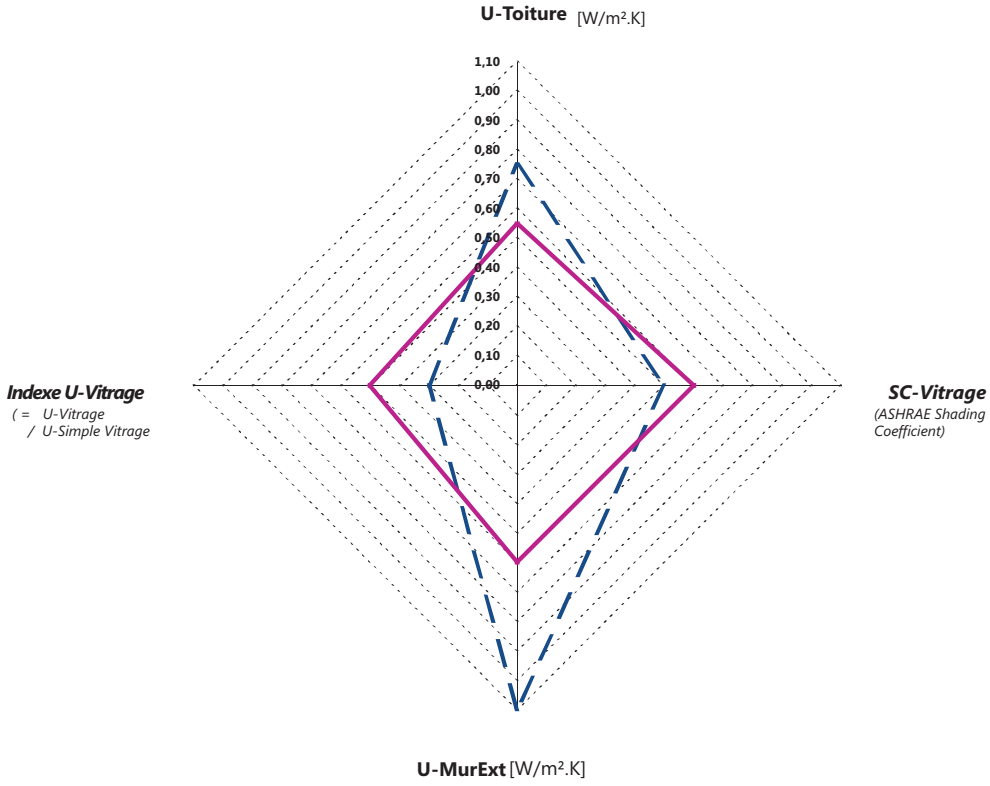
RT1 (Gouvernorat de Bizerte)
RT2 (Gouvernorats de l'Ariana, Ben Arous, Mannouba, Nabeul, Tunis et Zaghouan)
RT3 (Gouvernorats de Mahdia, Monastir, Sfax, et Sousse)
RT4 (Gouvernorats de Gabes, et Medenine - sauf Délégation de Matmata et Délégation de Médenine)

Station de Référence : Tunis (RT2)

CLASSE 2 - EXIGENCES DU LABEL POUR TUNIS - TBV = FAIBLE



CLASSE 2 - EXIGENCES DU LABEL POUR TUNIS - TBV = MOYEN



ZONE ZT1 : La Classe 2 ne peut pas être attribuée par l'approche prescriptive au delà d'un taux des baies vitrées "MOYEN".

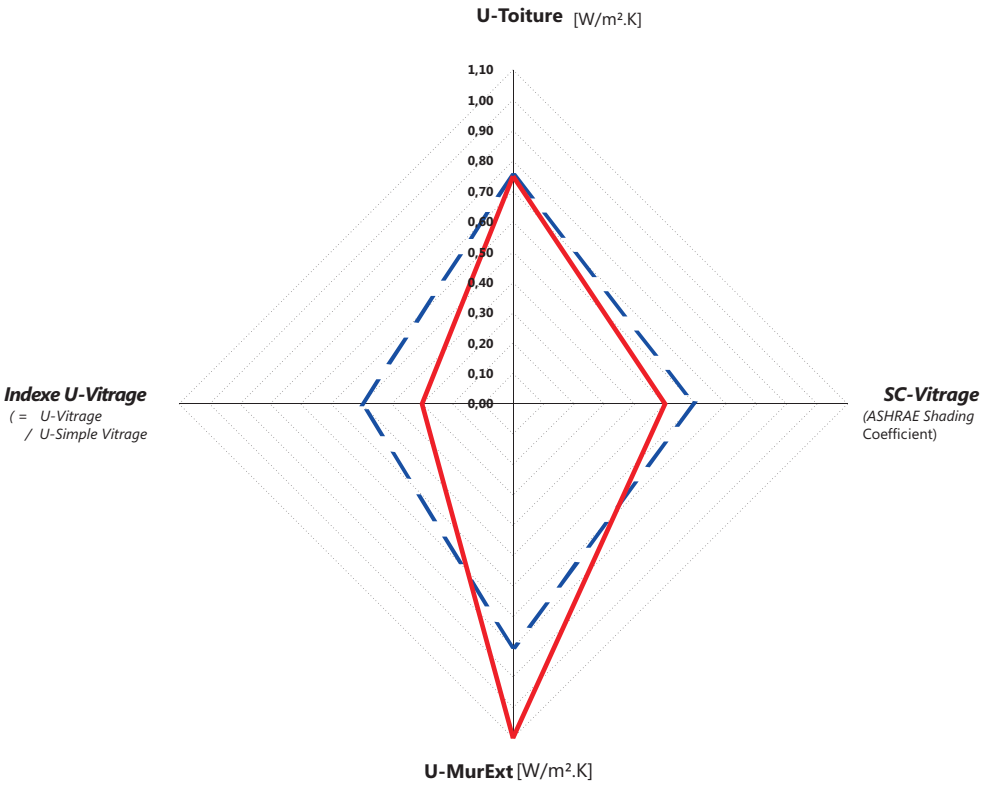
Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

Zone Réglementaire ZT2 : RT5, RT6, RT7 et RT8

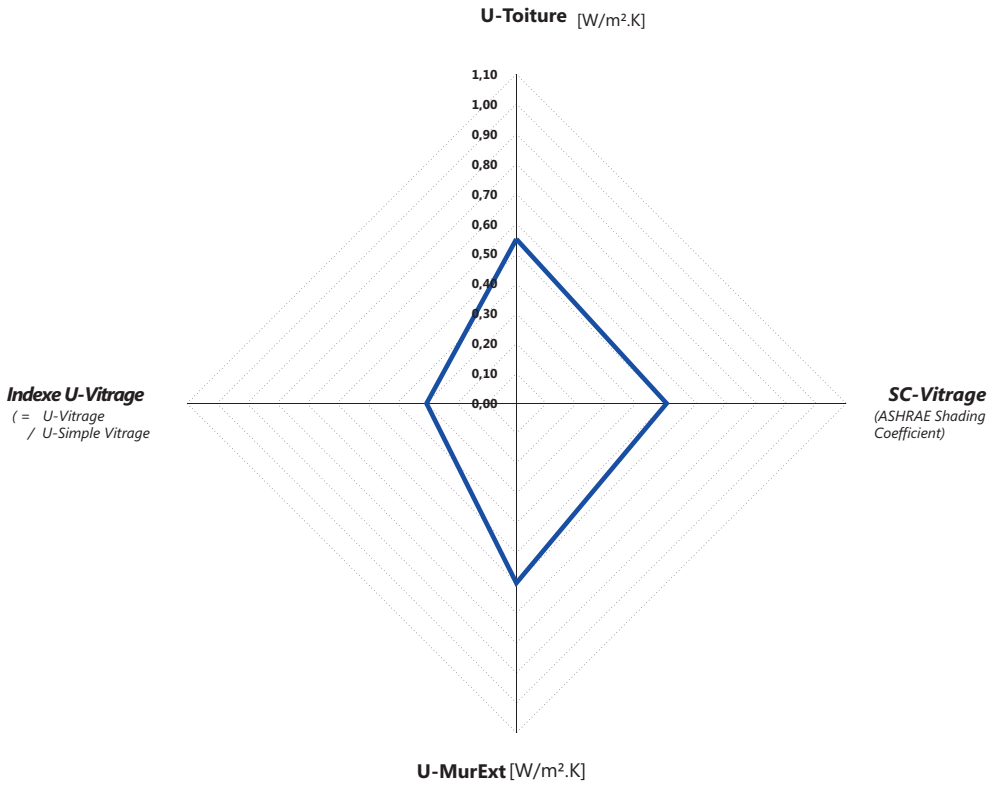
RT5 *(Gouvernorats de Béja, et Jendouba)*
RT6 *(Gouvernorats de Siliana et le Kef)*
RT7 *(Gouvernorats de Kairouan, Kasserine, et Sidi Bouzid)*
RT8 *(Gouvernorat de Gafsa)*

Station de Référence : Jendouba (RT5)

CLASSE 2 - EXIGENCES DU LABEL POUR JENDOUBA - TBV = FAIBLE



CLASSE 2 - EXIGENCES DU LABEL POUR JENDOUBA - TBV = MOYEN



ZONE ZT2 : La Classe 2 ne peut pas être attribuée par l'approche prescriptive au delà d'un taux des baies vitrées "MOYEN".

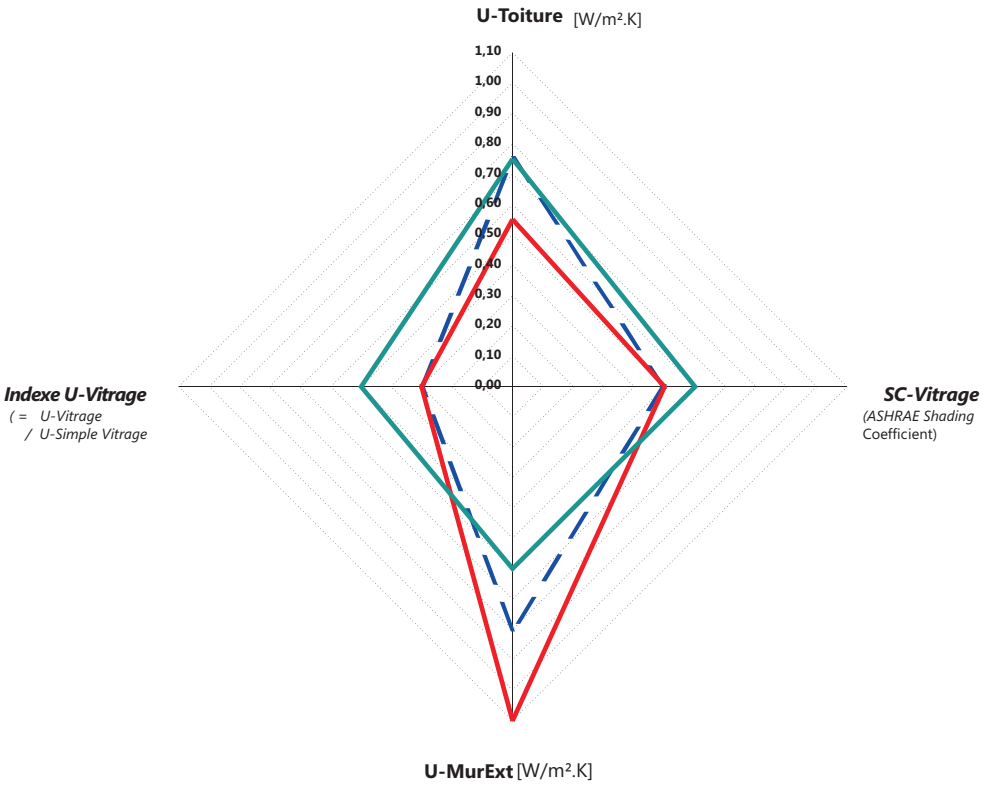
Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

Zone Réglementaire ZT3 :

RT9 *(Gouvernorats de Kébili, et Tozeur)*
RT10 *(Gouvernorat de Tataouine, Délégation de Matmata et Délégation de Médenine)*

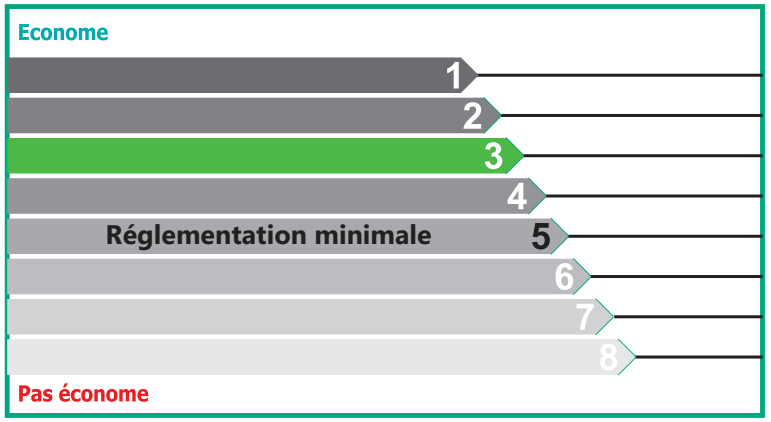
Station de Référence : Tozeur (RT9)

CLASSE 2 - EXIGENCES DU LABEL POUR TOZEUR - TBV = FAIBLE



ZONE ZT3 : La Classe 2 ne peut pas être attribuée par l'approche prescriptive au delà d'un taux des baies vitrées "FAIBLE".

Exigences du Label pour la classe 3



Besoins énergétiques annuels :

80 kWh/m².an <[Chauffage + Refroidissement] ≤ 95 kWh/m².an

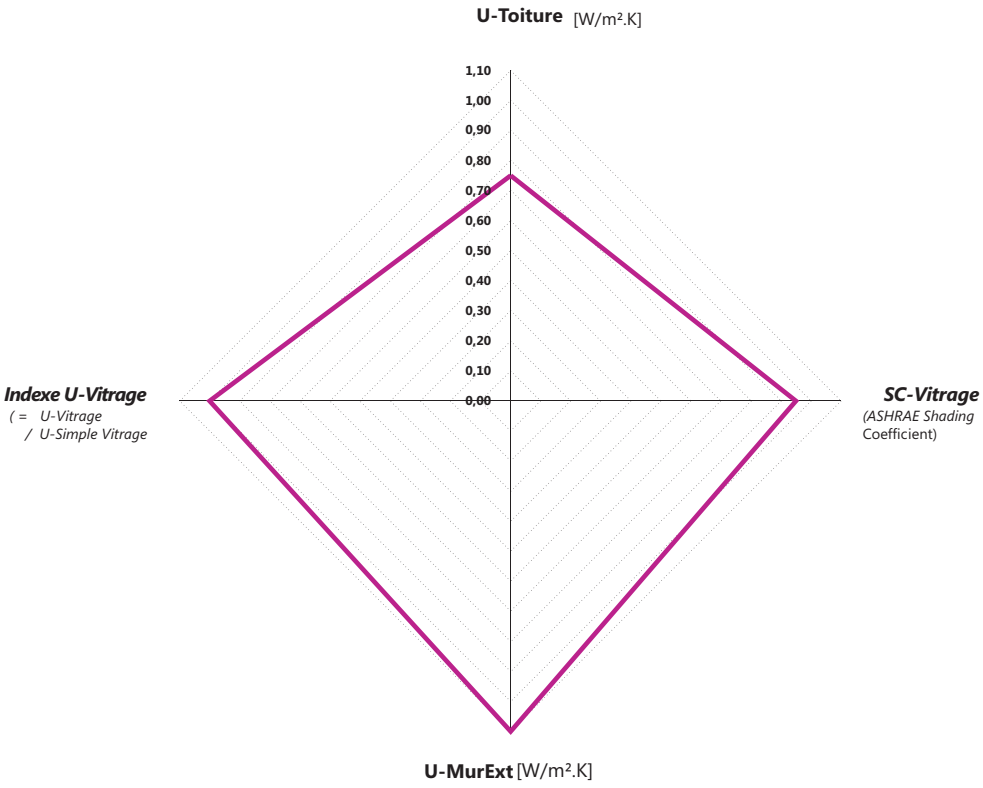
Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

Zone Réglementaire ZT1 : RT1, RT2, RT3 et RT4

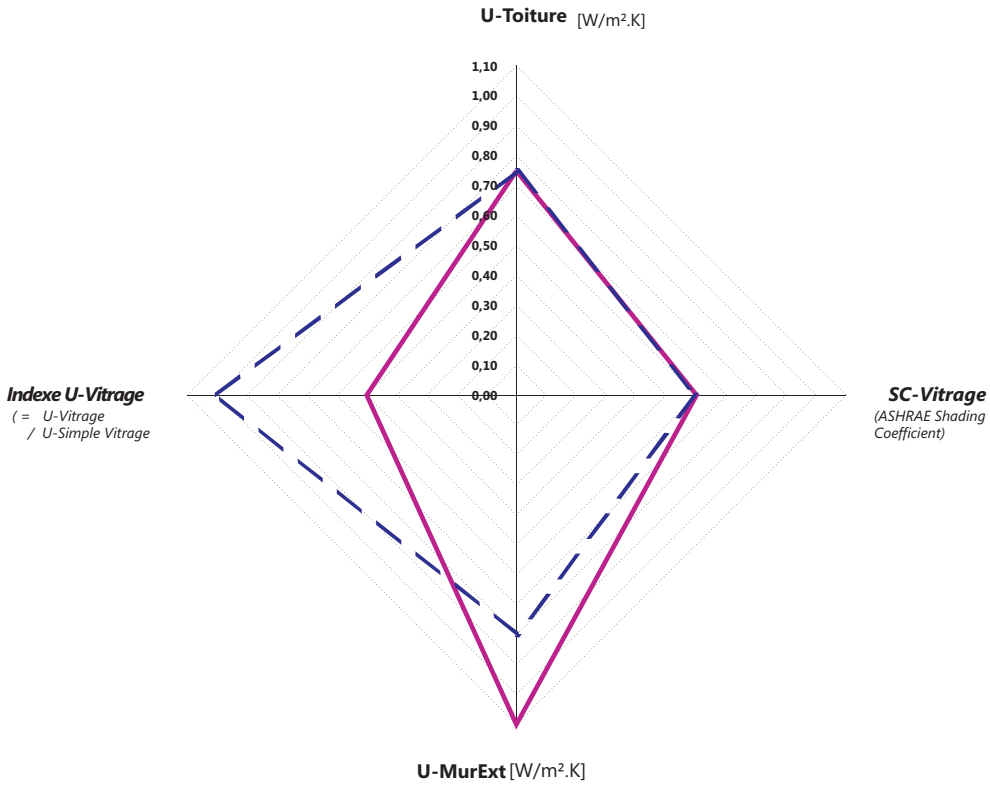
RT1 *(Gouvernorat de Bizerte),*
RT2 *(Gouvernorats de l'Ariana, Ben Arous, Manouba, Nabeul, Tunis et Zaghouan),*
RT3 *(Gouvernorats de Mahdia, Monastir, Sfax, et Sousse)*
RT4 *(Gouvernorats de Gabès, et Medenine - sauf Délégation de Matmata et Délégation de Médenine)*

Station de Référence : Tunis (RT2)

CLASSE 3 - EXIGENCES DU LABEL POUR TUNIS - TBV = FAIBLE



CLASSE 3 - EXIGENCES DU LABEL POUR TUNIS - TBV =MOYEN



ZONE ZT1 : La Classe 3 ne peut pas être attribuée par l'approche prescriptive au delà d'un taux des baies vitrées "ELEVE".

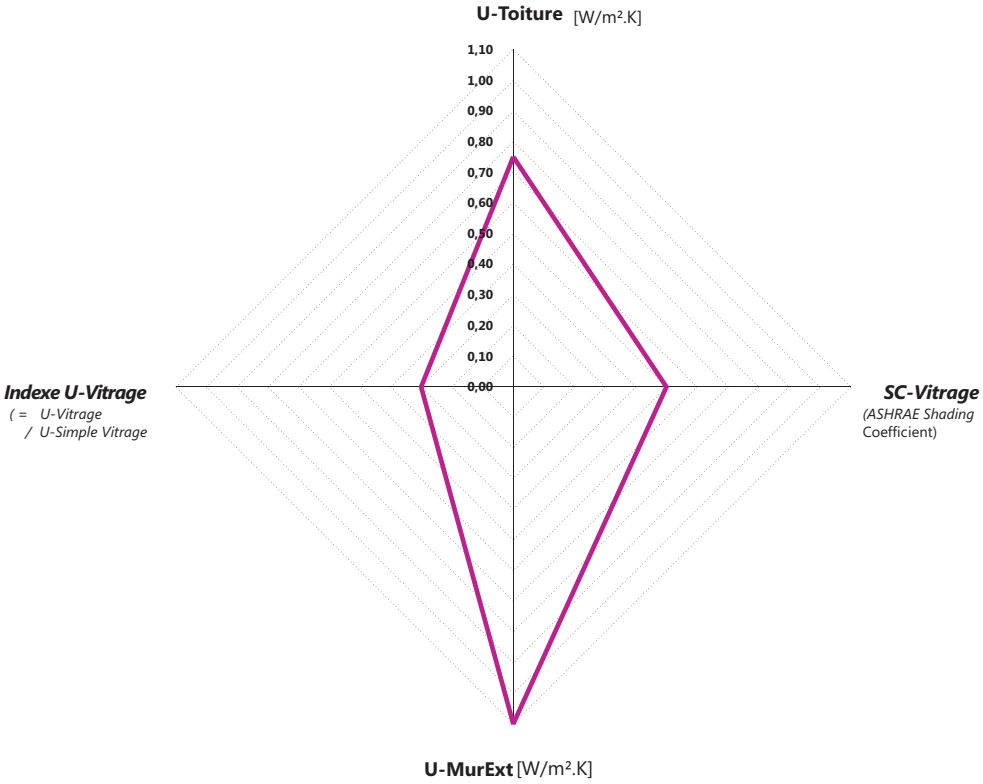
Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

Zone Réglementaire ZT2 : RT5, RT6, RT7 et RT8

RT5 *(Gouvernorats de Béja, et Jendouba)*
RT6 *(Gouvernorats de Siliana et le Kef)*
RT7 *(Gouvernorats de Kairouan, Kasserine, et Sidi Bouzid)*
RT8 *(Gouvernorat de Gafsa)*

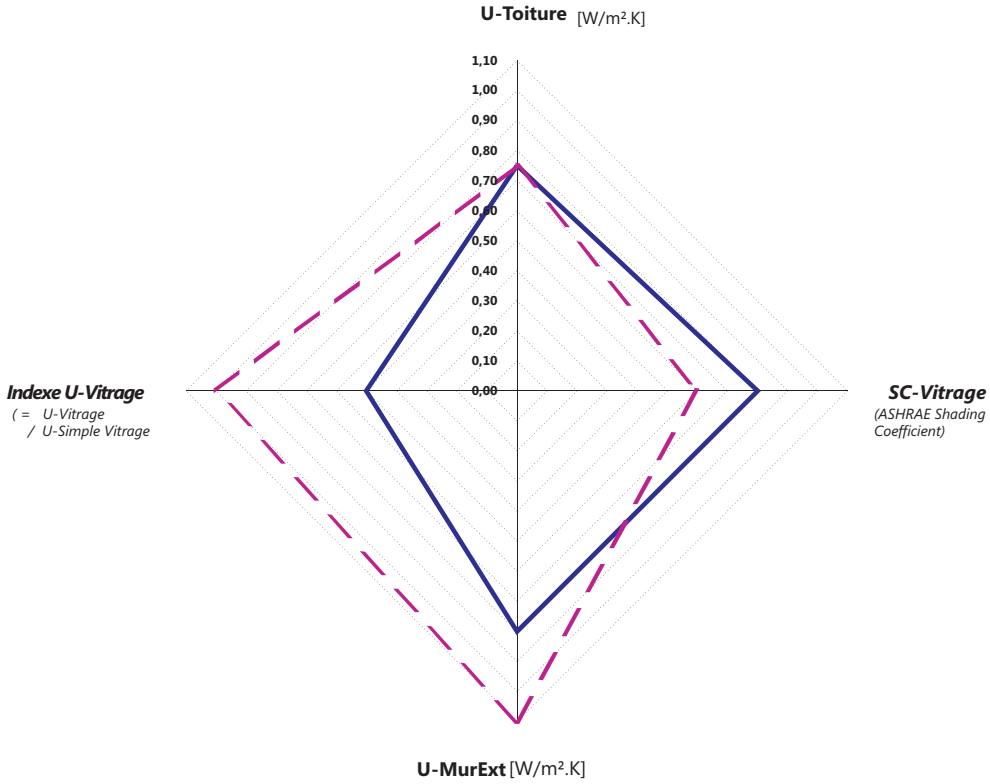
Station de Référence : Jendouba (RT5)

CLASSE 3 - EXIGENCES DU LABEL POUR TUNIS - TBV = ELEVE



ZONE ZT1 : La Classe 3 ne peut pas être attribuée par l'approche prescriptive au delà d'un taux des baies vitrées "ELEVE".

CLASSE 3 - EXIGENCES DU LABEL POUR JENDOUBA - TBV = FAIBLE



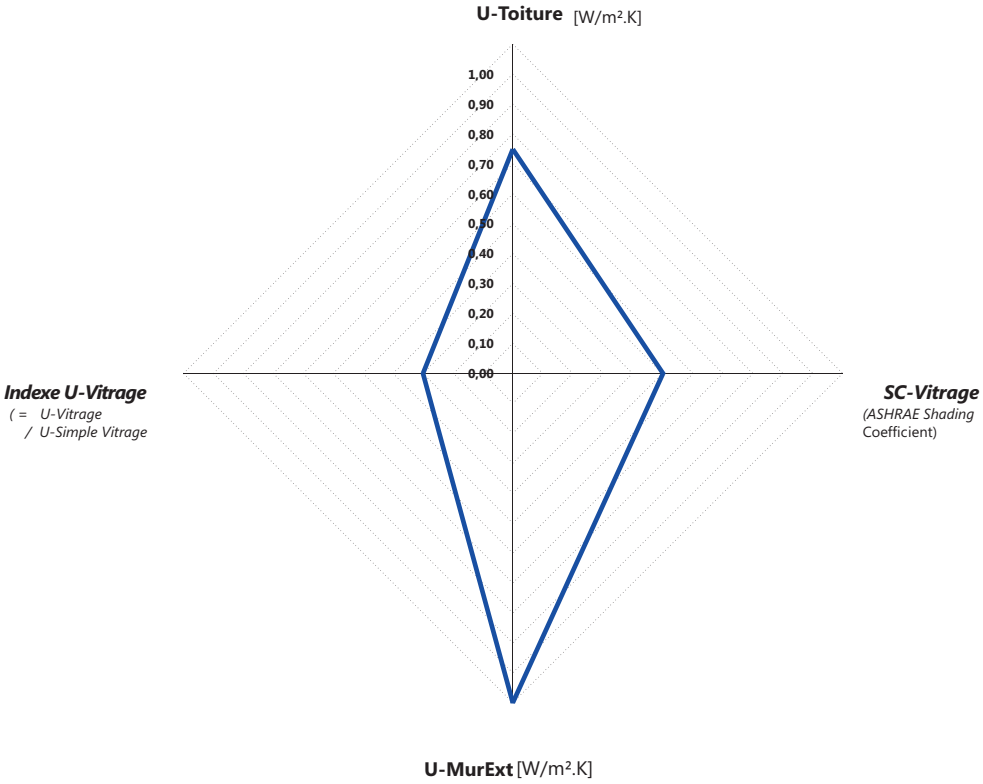
Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

Zone Règlementaire ZT3 :

RT9 *(Gouvernorats de Kébili, et Tozeur)*
RT10 *(Gouvernorat de Tataouine, Délégation de Matmata et Délégation de Médenine)*

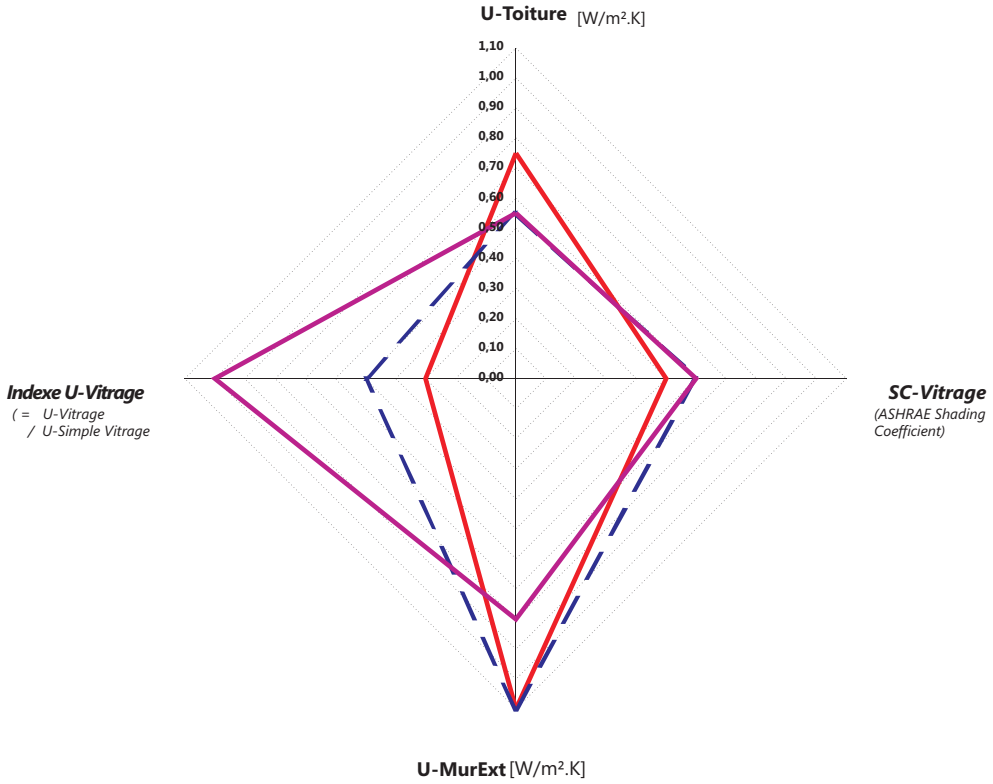
Station de Référence : Tozeur (RT9)

CLASSE 3 - EXIGENCES DU LABEL POUR JENDOUBA - TBV = MOYEN



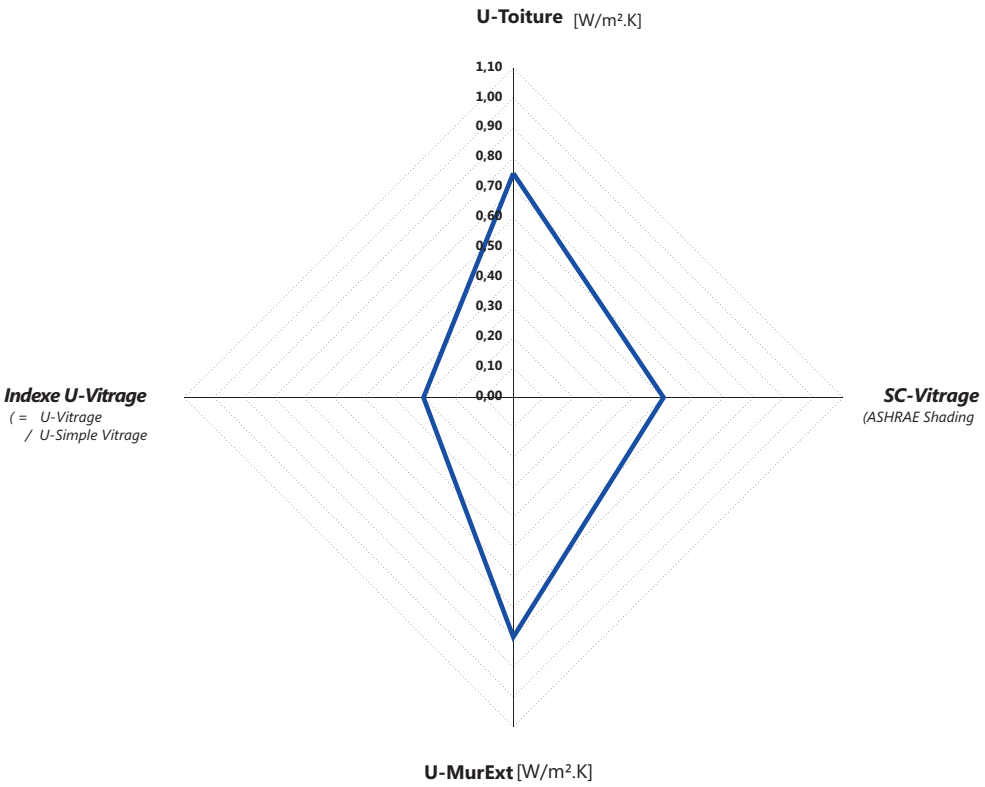
ZONE ZT2 : La Classe 3 ne peut pas être attribuée par l'approche prescriptive au delà d'un taux des baies vitrées "MOYEN".

CLASSE 3 - EXIGENCES DU LABEL POUR TOZEUR - TBV = FAIBLE



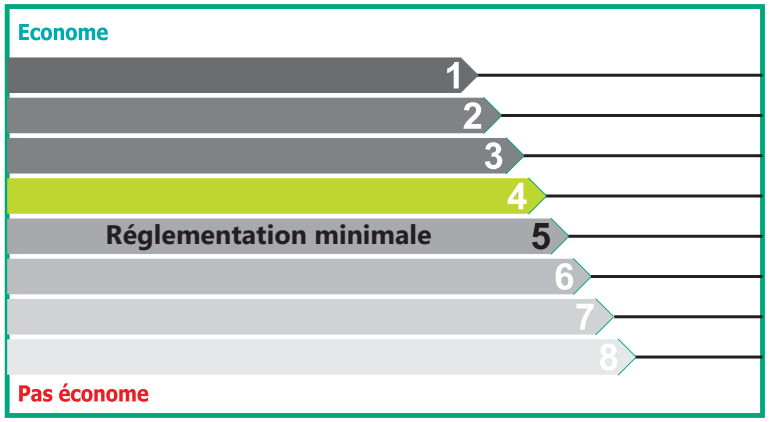
Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

CLASSE 3 - EXIGENCES DU LABEL POUR TOZEUR - TBV = MOYEN



ZONE ZT3 :La Classe 3 ne peut pas être attribuée par l'approche prescriptive au delà d'un taux des baies vitrées "MOYEN".

Exigences du Label pour la classe 4



Besoins énergétiques annuels :

90 kWh/m².an < [Chauffage + Refroidissement] ≤ 105 kWh/m².an

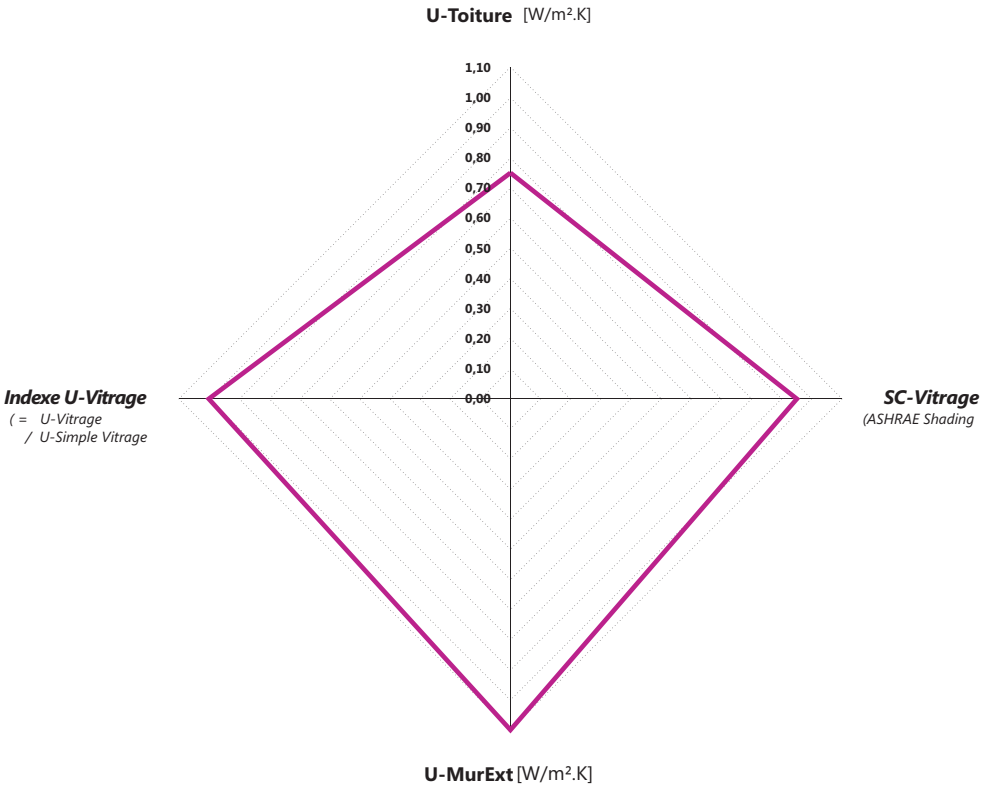
Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

Zone Réglementaire ZT1 : RT1, RT2, RT3 et RT4

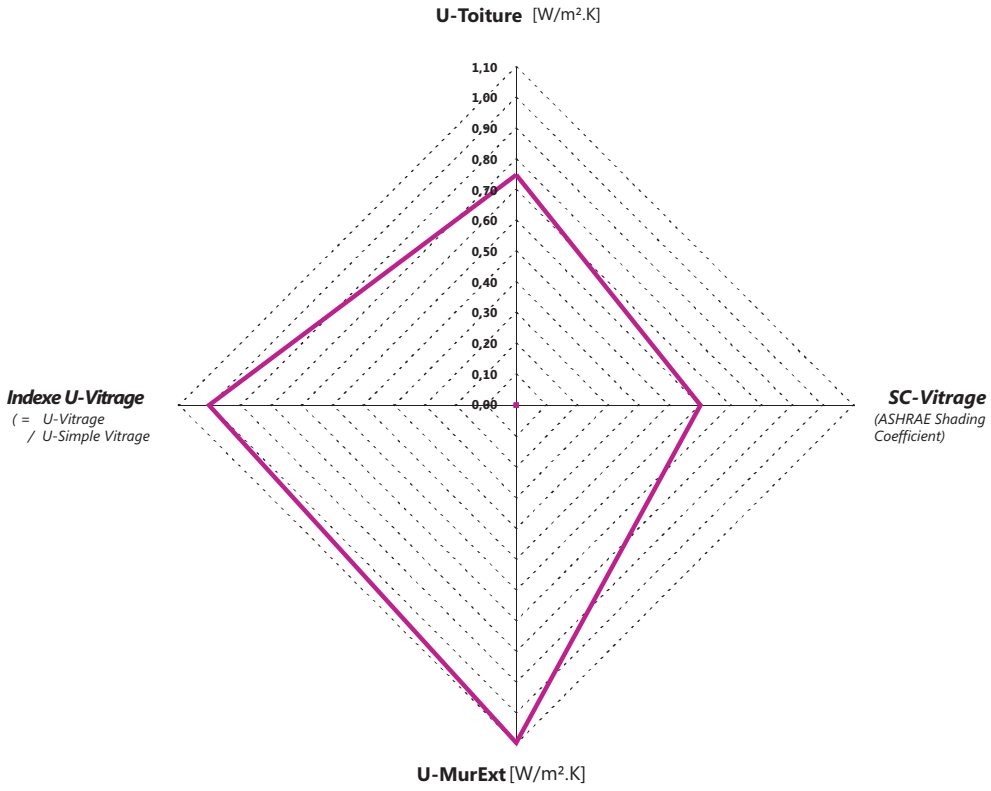
RT1 (Gouvernorat de Bizerte)
RT2 (Gouvernorats de l'Ariana, Ben Arous, Mannouba, Nabeul, Tunis et Zaghouan)
RT3 (Gouvernorats de Mahdia, Monastir, Sfax, et Sousse)
RT4 (Gouvernorats de Gabes, et Medenine - sauf Délégation de Matmata et Délégation de Médenine)

Station de Référence : Tunis (RT2)

CLASSE 4 - EXIGENCES DU LABEL POUR TUNIS - TBV = FAIBLE



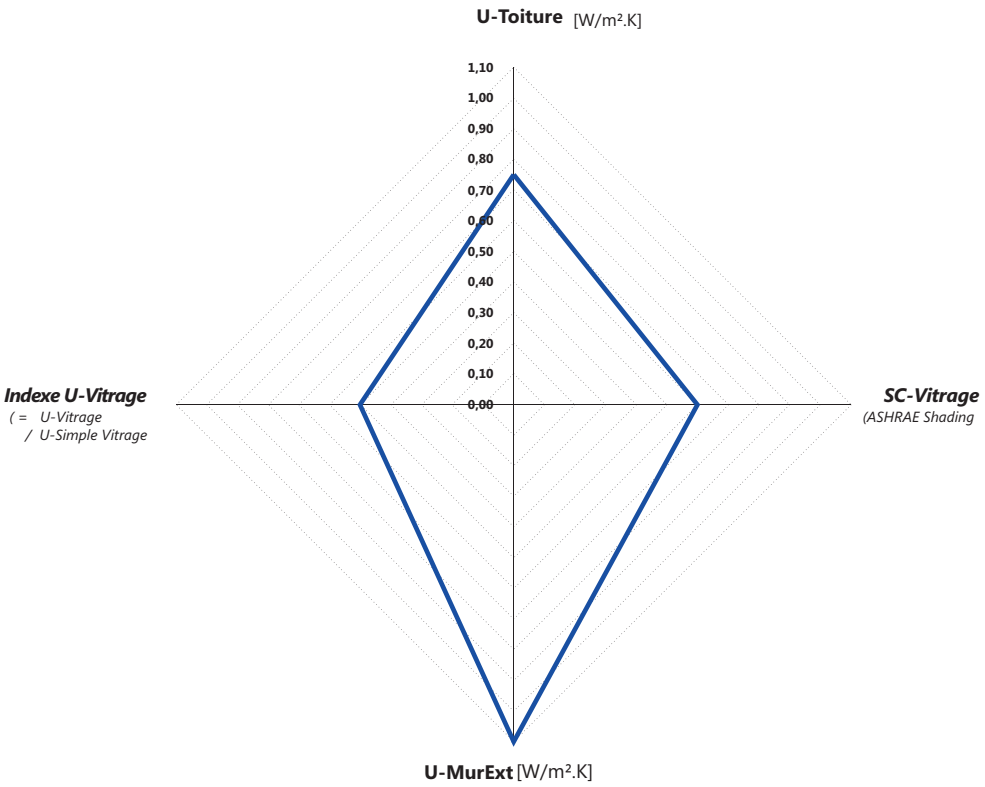
CLASSE 4 - EXIGENCES DU LABEL POUR TUNIS - TBV = MOYEN



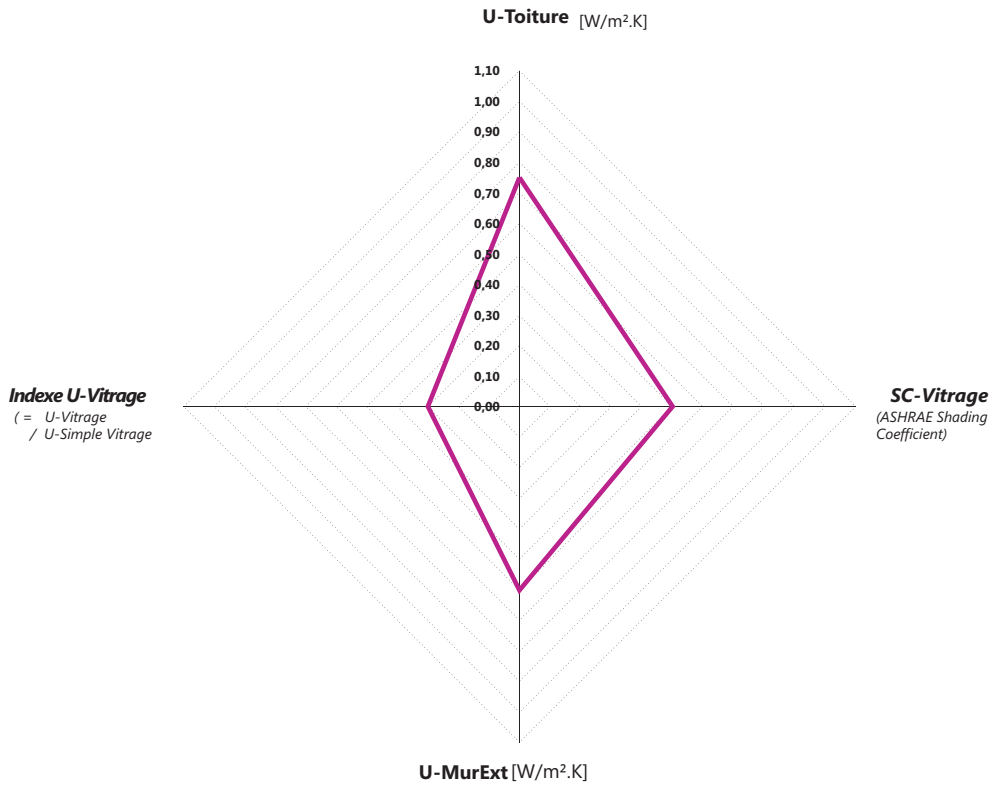
NOTA : Un taux des baies vitrées au delà de "TRÈS ÉLEVÉ" est considéré en dehors du champ d'application de l'approche prescriptive.

Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

CLASSE 4 - EXIGENCES DU LABEL POUR TUNIS - TBV = ELEVE



CLASSE 4 - EXIGENCES DU LABEL POUR TUNIS - TBV = TRES ELEVE



NOTA : Un taux des baies vitrées au delà de " TRÈS ÉLEVÉ" est considéré en dehors du champ d'application de l'approche prescriptive.

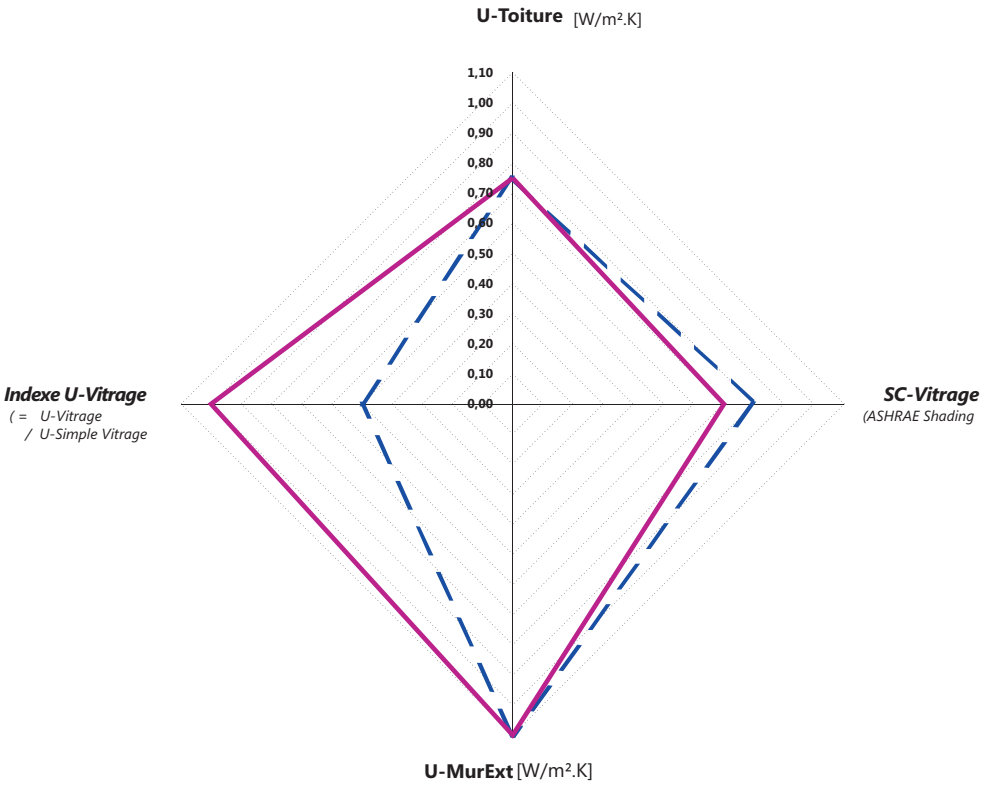
Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

Zone Réglementaire ZT2 : RT5, RT6, RT7 et RT8

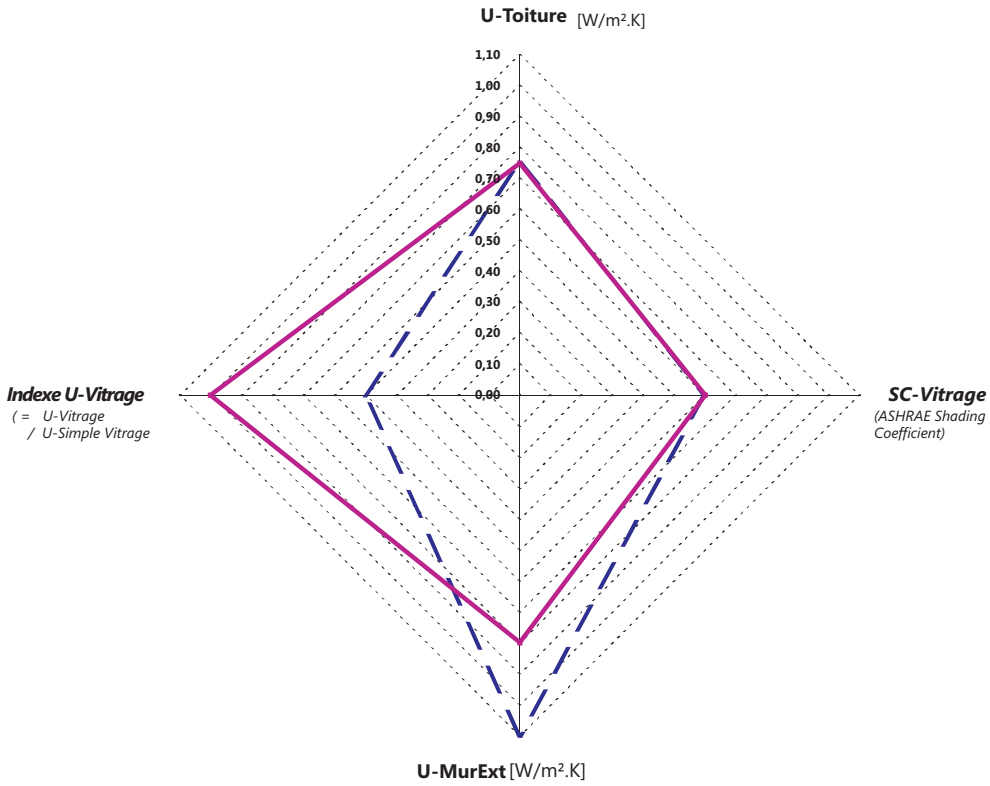
RT5 *(Gouvernorats de Béja, et Jendouba)*
RT6 *(Gouvernorats de Siliana et le Kef)*
RT7 *(Gouvernorats de Kairouan, Kasserine, et Sidi Bouzid)*
RT8 *(Gouvernorat de Gafsa)*

Station de Référence : Jendouba (RT5)

CLASSE 4 - EXIGENCES DU LABEL POUR JENDOUBA - TBV = FAIBLE



CLASSE 4 - EXIGENCES DU LABEL POUR JENDOUBA - TBV = MOYEN



ZONE ZT2 : La classe 4 ne peut pas être attribuée par l´approche prescriptive au delà d´un taux des baies vitrées ELEVE.

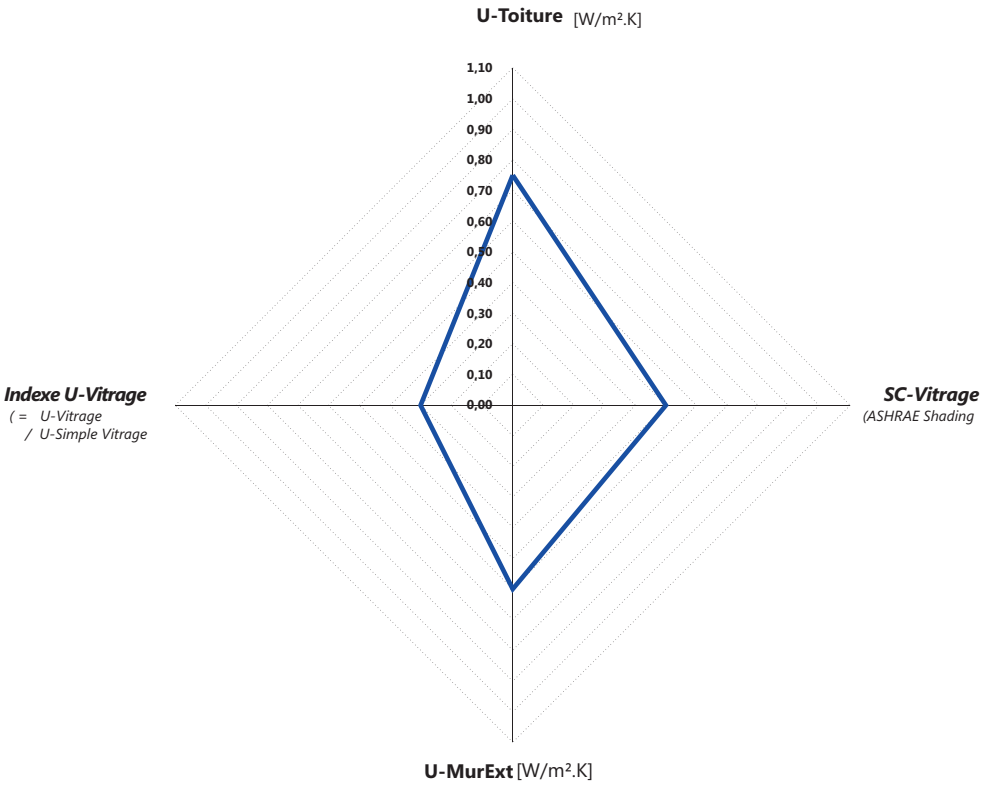
Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

Zone Règlementaire ZT3 :

RT9 *(Gouvernorats de Kébili, et Tozeur)*
RT10 *(Gouvernorat de Tataouine, Délégation de Matmata et Délégation de Médenine)*

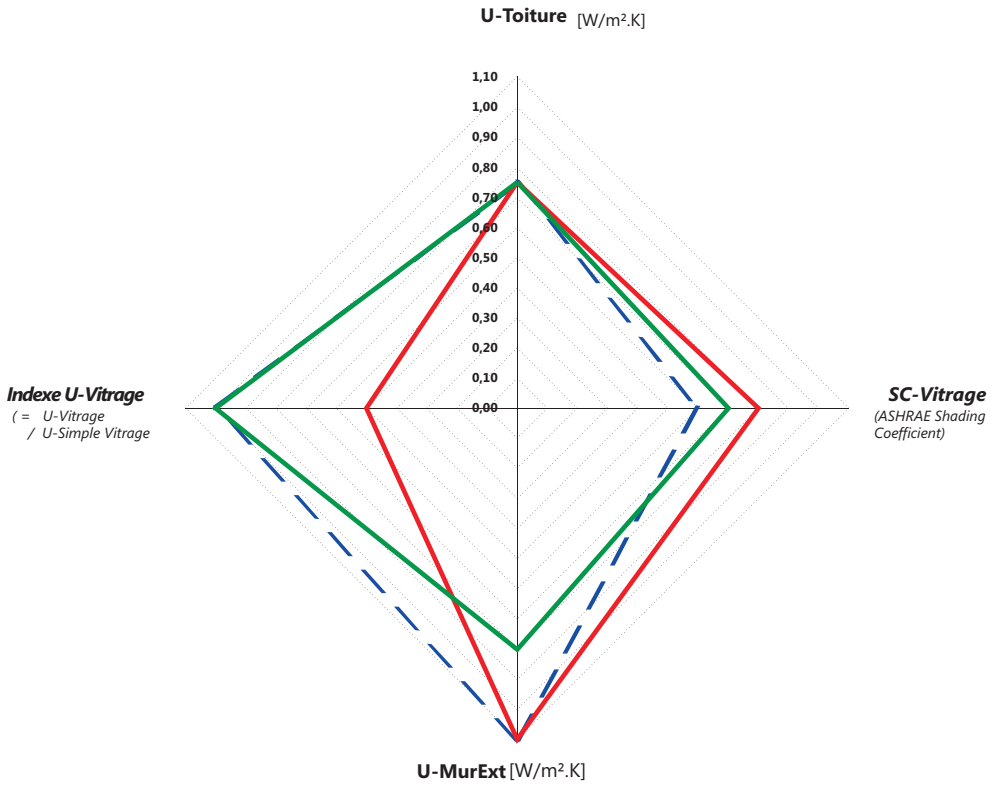
Station de Référence : Tozeur (RT9)

CLASSE 4 - EXIGENCES DU LABEL POUR JENDOUBA - TBV = ELEVE



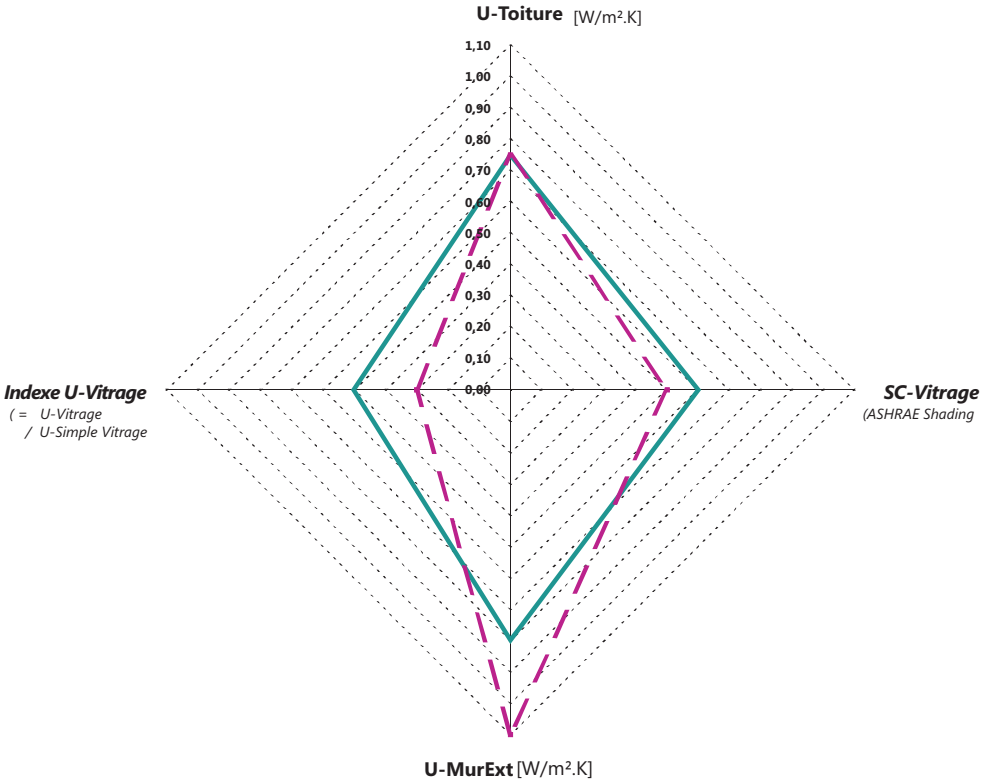
ZONE ZT2 :La classe 4 ne peut pas être attribuée par l´approche prescriptive au delà d´un taux des baies vitrées "ELEVE".

CLASSE 4 - EXIGENCES DU LABEL POUR TOZEUR - TBV = FAIBLE

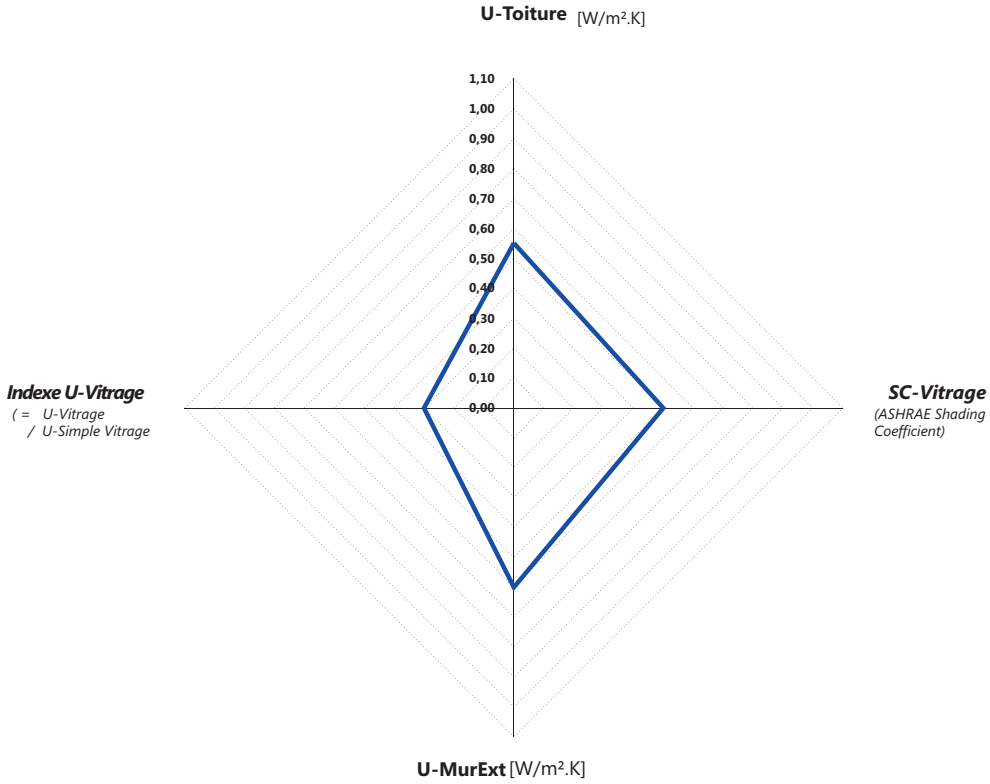


Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

CLASSE 4 - EXIGENCES DU LABEL POUR TOZEUR - TBV = MOYEN



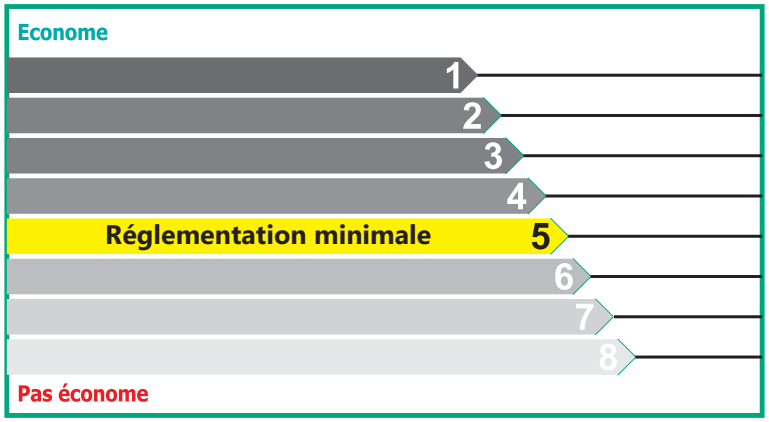
CLASSE 4 - EXIGENCES DU LABEL POUR TOZEUR - TBV = ELEVE



ZONE ZT3 : La classe 4 ne peut pas être attribuée par l´approche prescriptive au delà d´un taux des baies vitrées "ELEVE".

Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

Exigences du Label pour la classe 5



Besoins énergétiques annuels :

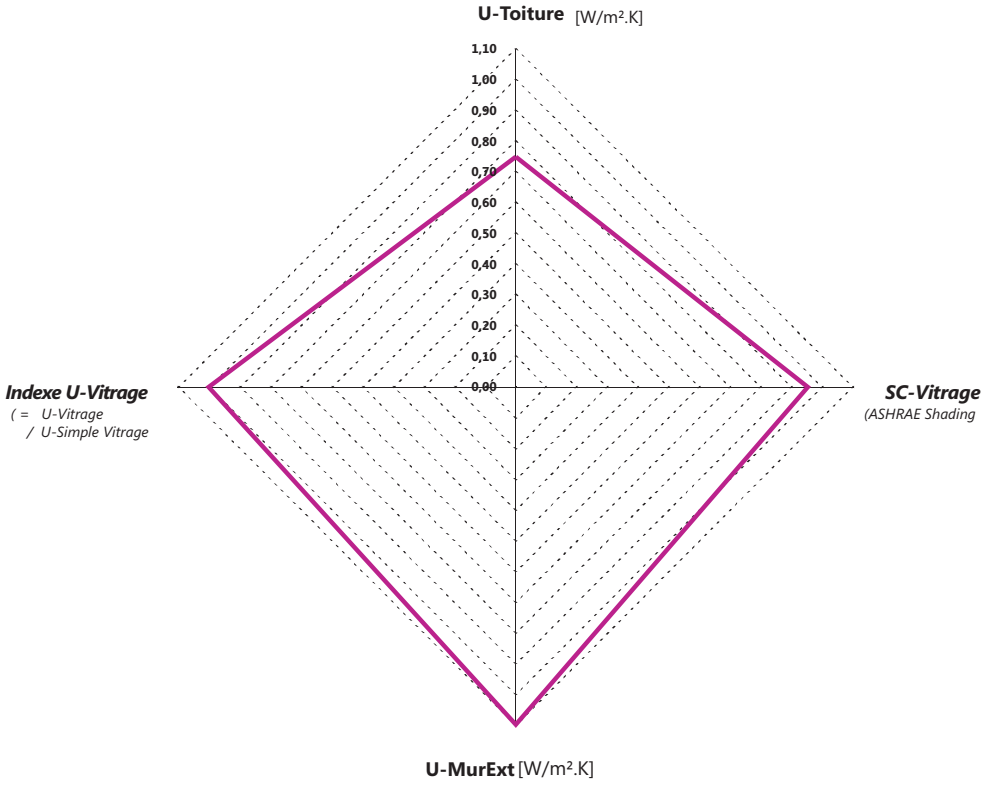
100 kWh/m².an < [Chauffage + Refroidissement] ≤ 125 kWh/m².an

Zone Réglementaire ZT1 : RT1, RT2, RT3 et RT4

RT1 (Gouvernorat de Bizerte)
RT2 (Gouvernorats de l'Ariana, Ben Arous, Mannouba, Nabeul, Tunis et Zaghouan)
RT3 (Gouvernorats de Mahdia, Monastir, Sfax, et Sousse)
RT4 (Gouvernorats de Gabes, et Medenine - sauf Délégation de Matmata et Délégation de Médenine)

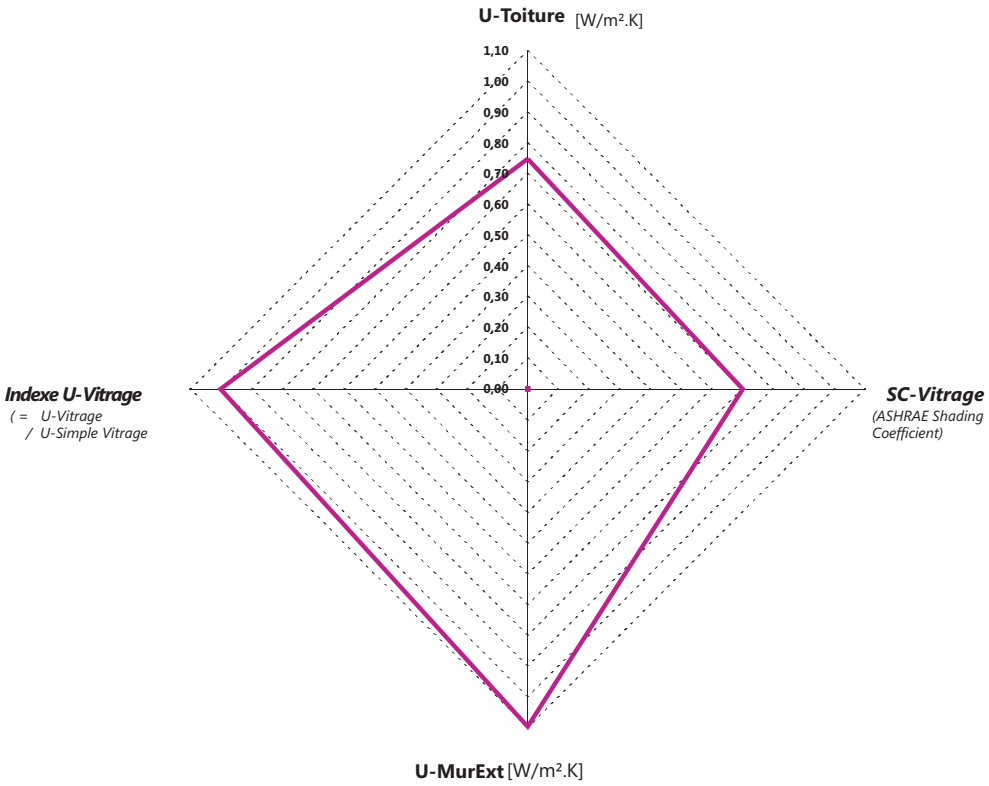
Station de Référence : Tunis (RT2)

CLASSE 5 - EXIGENCES DU LABEL POUR TUNIS - TBV = FAIBLE



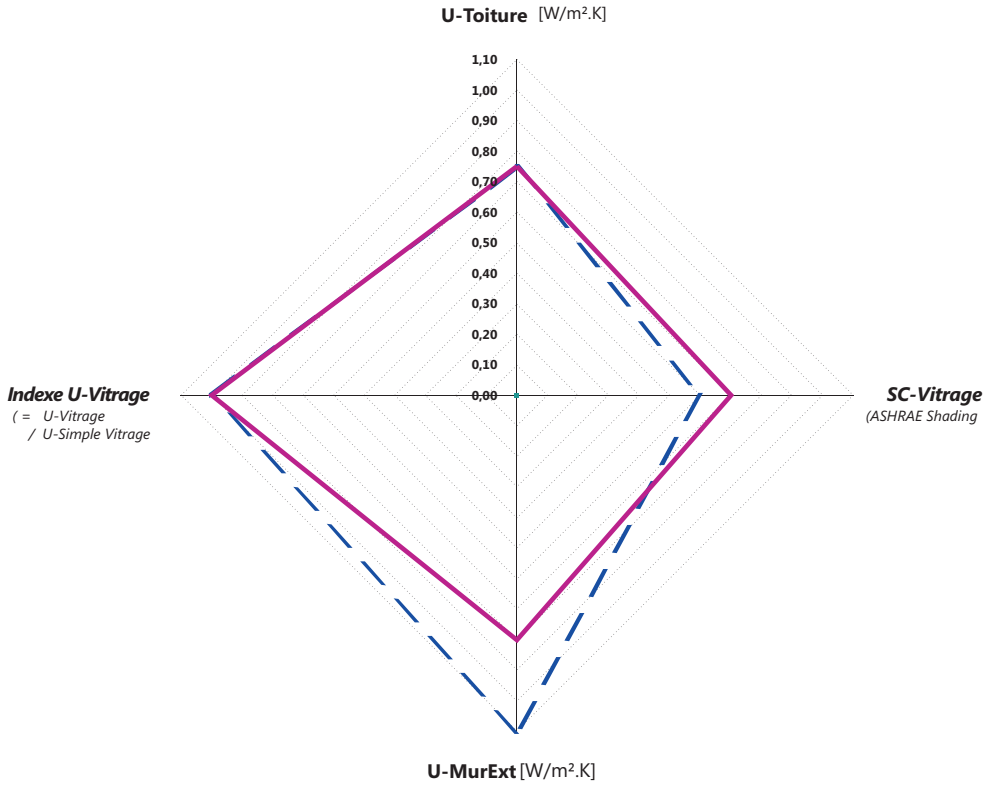
Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

CLASSE 5 - EXIGENCES DU LABEL POUR TUNIS - TBV = MOYEN



NOTA : Un taux des baies vitrées au delà de "TRÈS ÉLEVÉ" est considéré en dehors du champ d'application de l'approche prescriptive.

CLASSE 5 - EXIGENCES DU LABEL POUR TUNIS - TBV = ELEVE



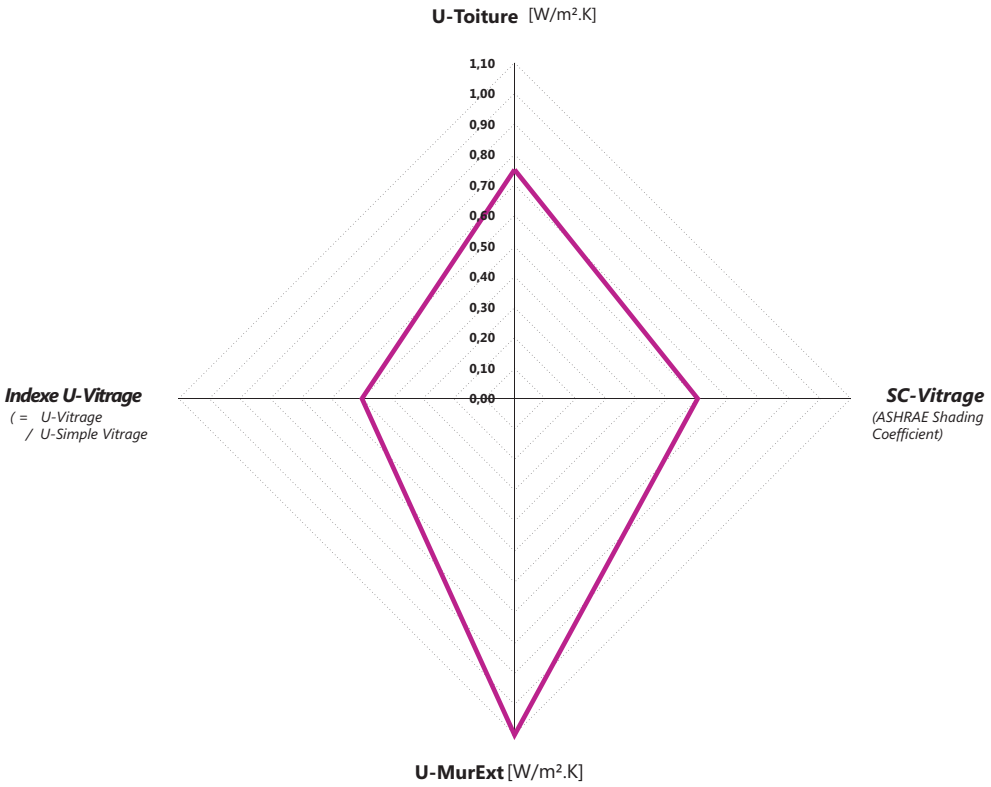
Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

Zone Réglementaire ZT2 : RT5, RT6, RT7 et RT8

RT5 *(Gouvernorats de Béja, et Jendouba)*
RT6 *(Gouvernorats de Siliana et le Kef)*
RT7 *(Gouvernorats de Kairouan, Kasserine, et Sidi Bouzid)*
RT8 *(Gouvernorat de Gafsa)*

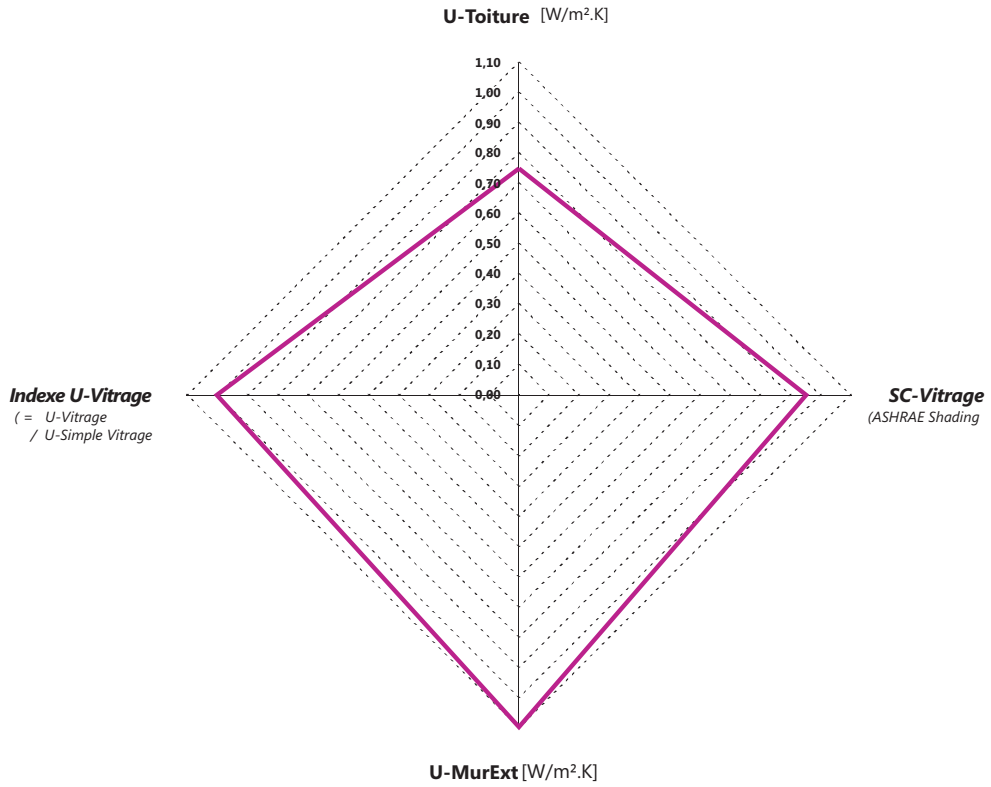
Station de Référence : Jendouba (RT5)

CLASSE 5 - EXIGENCES DU LABEL POUR TUNIS - TBV = TRES ELEVE



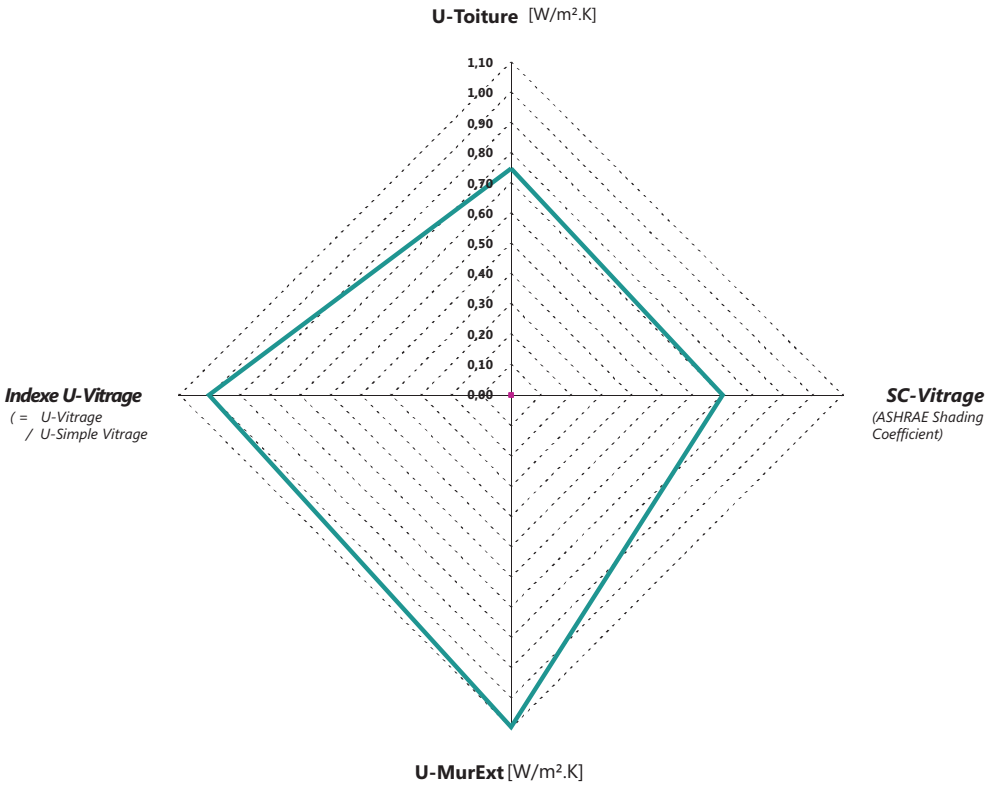
NOTA : Un taux des baies vitrées au delà de "TRÈS ÉLEVÉ" est considéré en dehors du champ d'application de l'approche prescriptive.

CLASSE 5 - EXIGENCES DU LABEL POUR JENDOUBA - TBV =FAIBLE



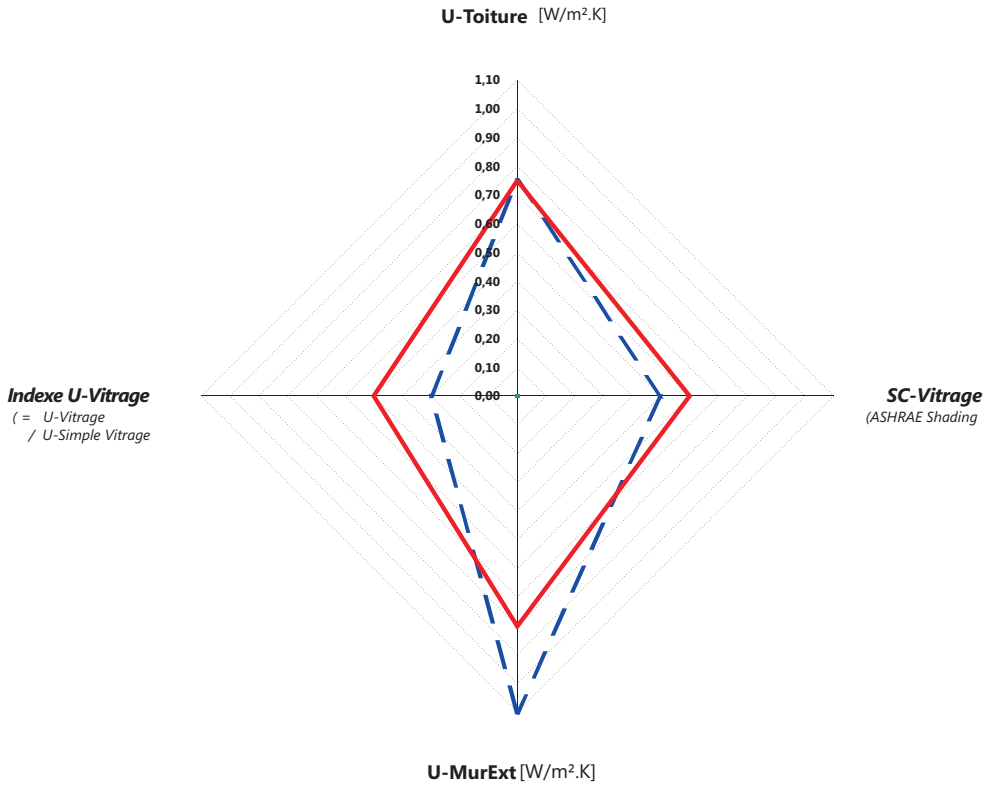
Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

CLASSE 5 - EXIGENCES DU LABEL POUR JENDOUBA - TBV = MOYEN



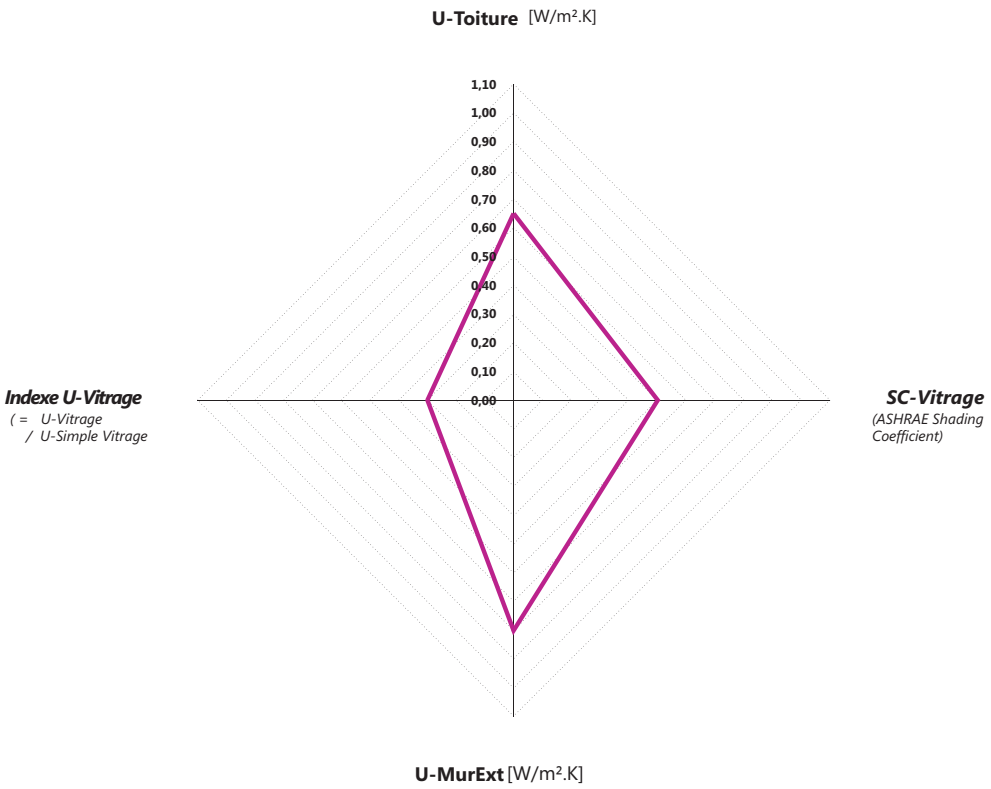
NOTA : Un taux des baies vitrées au delà de "TRÈS ÉLEVÉ" est considéré en dehors du champ d'application de l'approche prescriptive.

CLASSE 5 - EXIGENCES DU LABEL POUR JENDOUBA - TBV = ELEVE



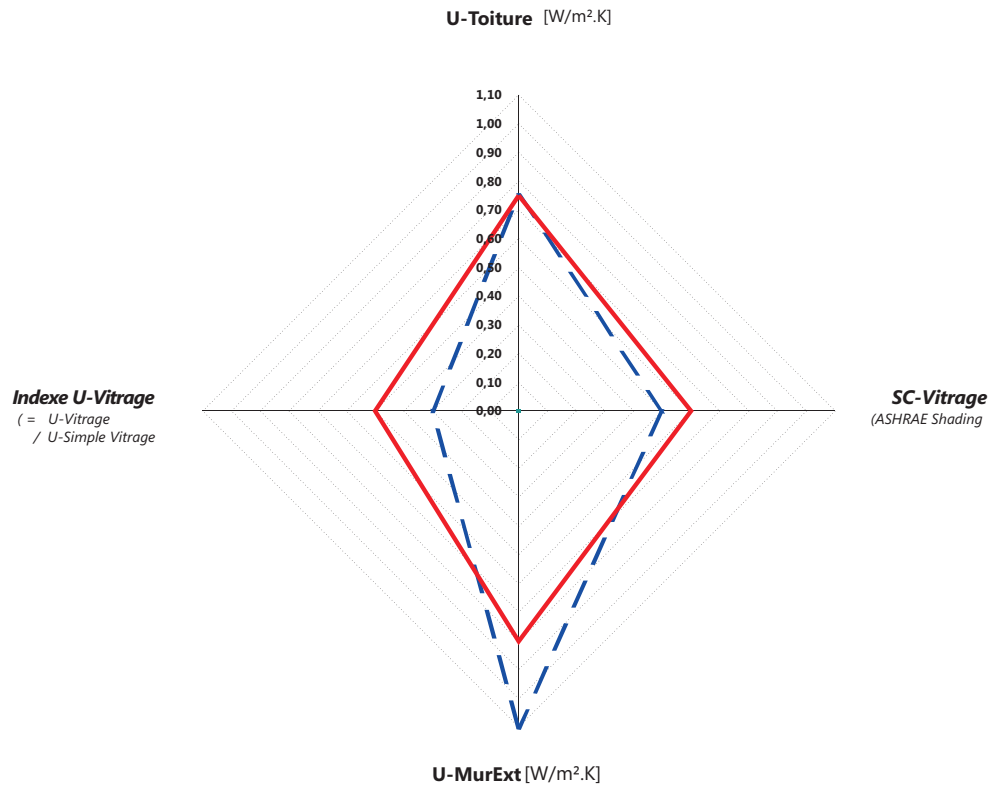
Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

CLASSE 5 - EXIGENCES DU LABEL POUR JENDOUBA - TBV = TRES ELEVE



NOTA : Un taux des baies vitrées au delà de "TRÈS ÉLEVÉ" est considéré en dehors du champ d'application de l'approche prescriptive.

CLASSE 5 - EXIGENCES DU LABEL POUR JENDOUBA - TBV = ELEVE



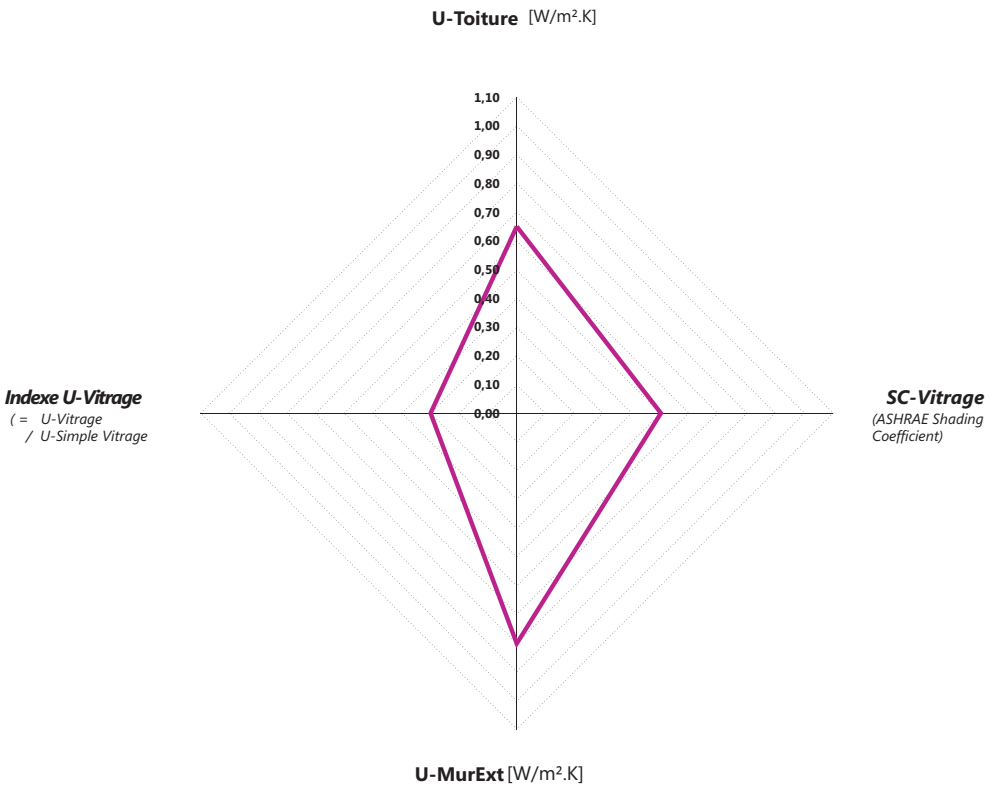
Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

Zone Règlementaire ZT3 :

RT9 *(Gouvernorats de Kébili, et Tozeur)*
RT10 *(Gouvernorat de Tataouine, Délégation de Matmata et Délégation de Médenine)*

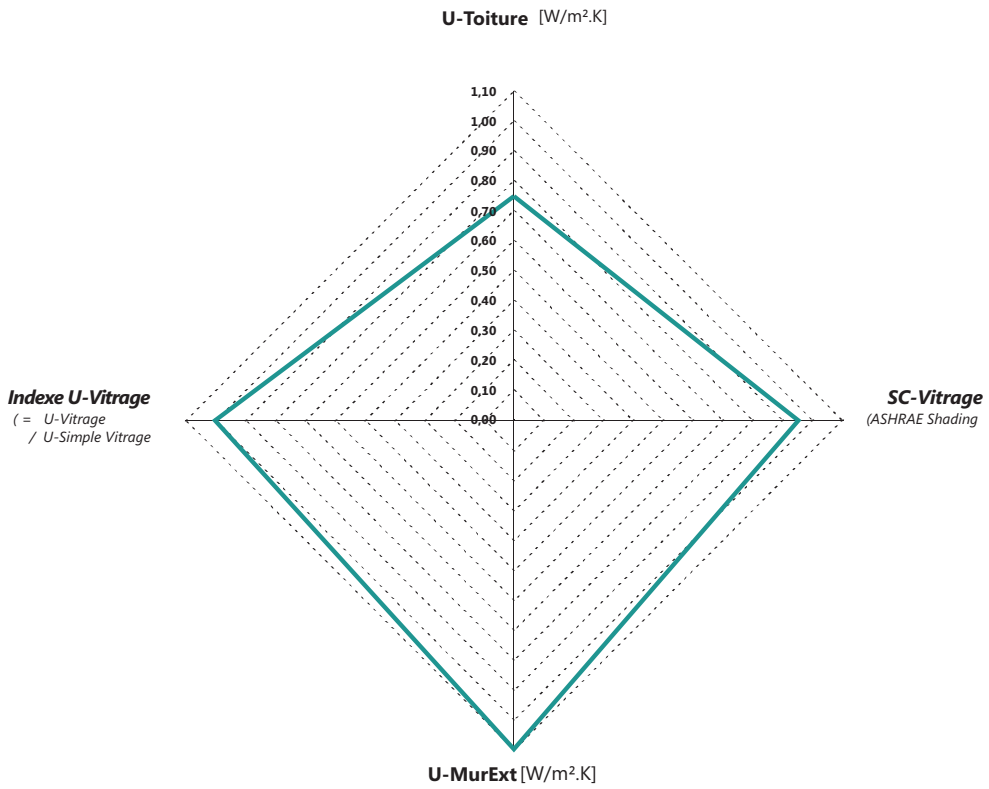
Station de Référence : Tozeur (RT9)

CLASSE 5 - EXIGENCES DU LABEL POUR JENDOUBA - TBV = TRES ELEVE



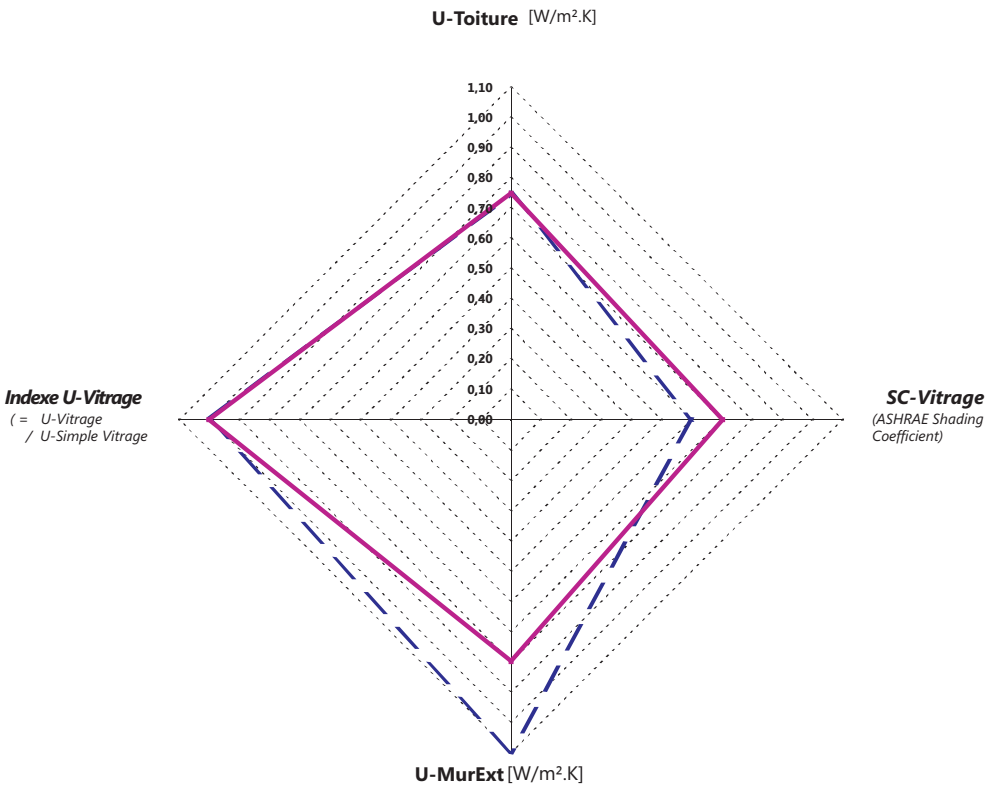
NOTA : Un taux des baies vitrées au delà de "TRÈS ÉLEVÉ" est considéré en dehors du champ d'application de l'approche prescriptive.

CLASSE 5 - EXIGENCES DU LABEL POUR TOZEUR - TBV = FAIBLE



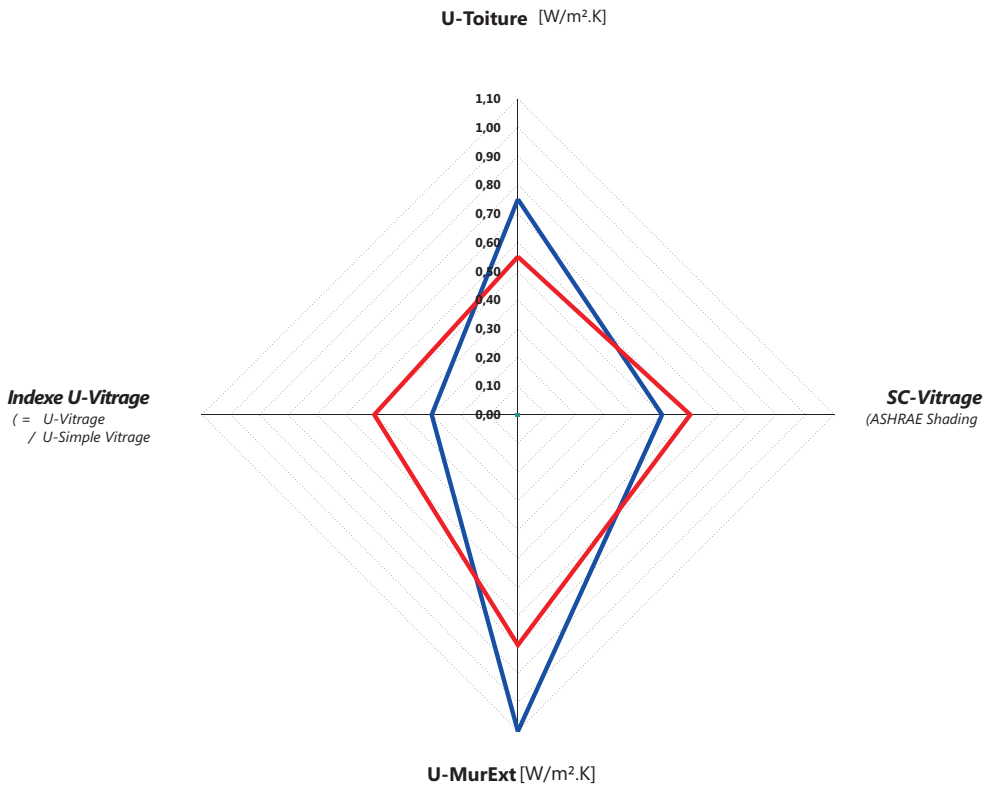
Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

CLASSE 5 - EXIGENCES DU LABEL POUR TOZEURS - TBV = MOYEN



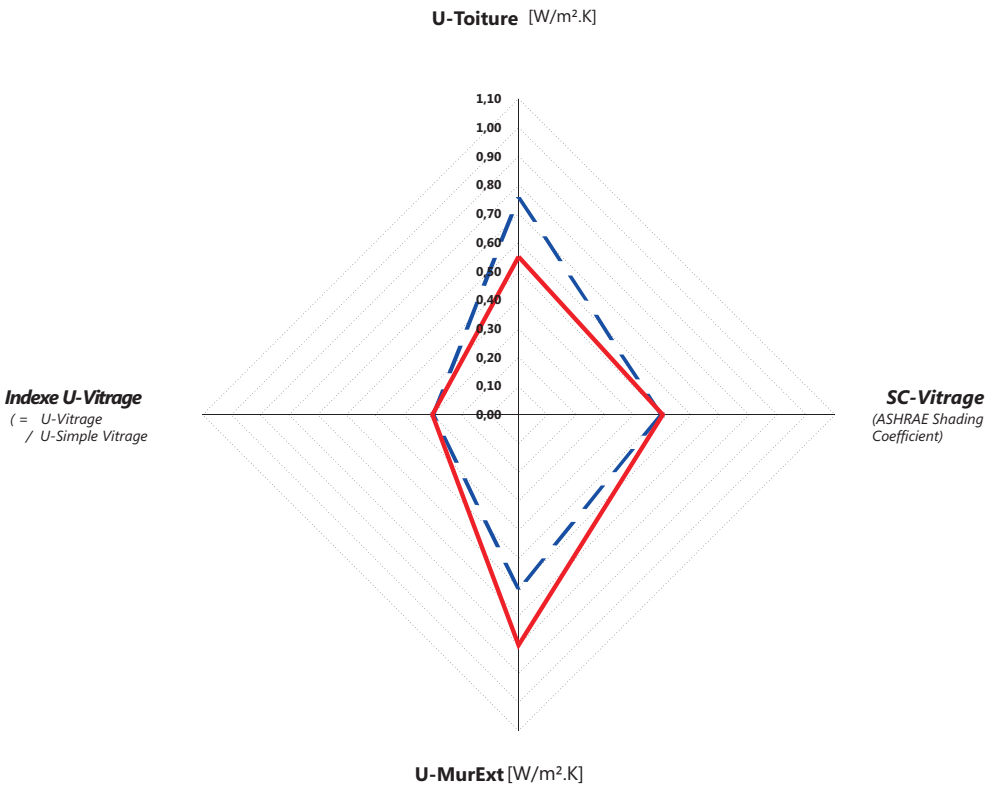
NOTA : Un taux des baies vitrées au delà de "TRÈS ÉLEVÉ" est considéré en dehors du champ d'application de l'approche prescriptive.

CLASSE 5 - EXIGENCES DU LABEL POUR TOZEUR - TBV = ELEVE



Formulation proposée pour le label
Cas des bâtiments à usage de bureaux

CLASSE 5 - EXIGENCES DU LABEL POUR TOZEUR - TBV = TRES ELEVE



NOTA : Un taux des baies vitrées au delà de "TRÈS ÉLEVÉ" est considéré en dehors du champ d'application de l'approche prescriptive.

ANNEXES

ANNEXE 1

La prise en compte des éléments architecturaux de protection solaire dans l'approche prescriptive

ANNEXE 2

Corrélations entre besoins thermiques et consommation d'énergie développés à partir des résultats de simulation

ANNEXE 3

Graphiques illustrant l'impact de l'isolation thermique des parois opaques sur les besoins de chauffage, de refroidissement et de chauffage et de refroidissement pour les sites de Jendouba et Tozeur (cas des configurations de base)

ANNEXE 1

La prise en compte des éléments architecturaux de protection solaire dans l'approche prescriptive peut être obtenue par le remplacement de (SC) par un coefficient de transmission solaire thermique équivalent (SC*), définit comme suit : Coefficient de transmission solaire thermique du vitrage (SC) corrigé par le coefficient de masque architectural (Fma). SC* est déterminé par la formule suivante :

$$SC^* = \frac{\sum_i (SC_i . BV_i . Fma_i)}{\sum_i BV_i}$$

Avec,

SC_i	**Coefficient de transmission solaire thermique (SC) de la baie vitrée " i " des locaux conditionnés.**
BV_i	**Surface de la baie vitrée " i " des locaux conditionnés.**
Fma_i	**Coefficient de masque architectural de la baie vitrée " i " des locaux conditionnés.**

La sommation sur les baies s'effectue sur toutes les baies vitrées du bâtiment à l'exception des baies orientées au Nord plus au moins 30° . Le coefficient de masque architectural des surfaces vitrées est donné dans le tableau suivant (*Eléments de calcul fournis par M. Adel MOURTADA - Université du Liban*).

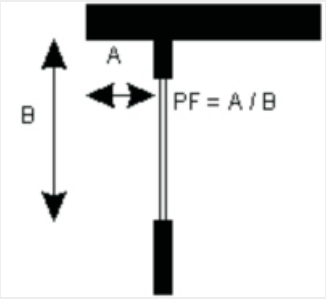
Type de masque	*Fma*
Pas de masque	**1,00**
Débord de toit, pare-soleil, balcon loggia ou auvent orienté au Sud plus au moins 45° : Facteur de projection, 0,15 < FP ⩽ 0,25	**0,85**
Débord de toit, pare-soleil, balcon loggia ou auvent orienté au Sud plus au moins 45° : Facteur de projection, 0,25 < FP ⩽ 0,35	**0,75**
Débord de toit, pare-soleil, balcon loggia ou auvent orienté au Sud plus au moins 45° *: Facteur de projection FP > 0,35*	**0,70**
Valeur par défaut pour toute orientation autre que Sud plus au moins 45° quelque soit le type de masque.	**1,00**

Le Facteur de projection est donné par

FP = A/B

A : Largeur du débord horizontal du masque architectural.

B : Distance entre le débord horizontal du masque architectural et la partie inférieure de la surface vitrée.



Il est à noter que le choix du type de vitrage devrait favoriser un coefficient de transmission du rayonnement solaire visible le plus élevé possible pour un même coefficient " SC ", et ce pour assurer au mieux l'éclairage naturel des locaux.

RÉCAPITULATION DES CORRÉLATIONS BESOINS/CONSOMMATIONS

Site de référence : TUNIS

Chauffage et Refroidissement

Corrélations : Consommation = f (Besoins)

Consom_primaire [thermie/m²] = a * Besoins [kWh/m²] + b

a=	0,9912		
b=	-2,1829	**r =**	0,992

Corrélations : Besoins = f (Consommation)

Besoins [kWh/m²] = a * Consom_primaire [thermie/m²] + b

a=	1,0012		
b=	3,0150	**r =**	0,992

Chauffage

Corrélations : Consommation = f (Besoins)

Consom_primaire [thermie/m²] = a * Besoins [kWh/m²] + b

a=	1,2855		
b=	0,9695	**r =**	0,997

Corrélations : Besoins = f (Consommation)

Besoins [kWh/m²] = a * Consom_primaire [thermie/m²] + b

a=	0,7756		
b=	-0,6458	**r =**	0,997

Refroidissement

Corrélations : Consommation = f (Besoins)

Consom_primaire [thermie/m²] = a * Besoins [kWh/m²] + b

a=	0,8220		
b=	-1,2970	**r =**	0,994

Corrélations : Besoins = f (Consommation)

Besoins [kWh/m²] = a * Consom_primaire [thermie/m²] + b

a=	1,2092		
b=	2,0183	**r =**	0,994

RÉCAPITULATION DES CORRÉLATIONS BESOINS/CONSOMMATIONS

Site de référence : JENDOUBA

Chauffage et Refroidissement

Corrélations : Consommation = f (Besoins)

Consom_primaire [thermie/m²] = a * Besoins [kWh/m²] + b

a=	1,0698		
b=	-2,9029	**r =**	0,998

Corrélations : Besoins = f (Consommation)

Besoins [kWh/m²] = a * Consom_primaire [thermie/m²] + b

a=	0,9328		
b=	2,9773	**r =**	0,998

Chauffage

Corrélations : Consommation = f (Besoins)

Consom_primaire [thermie/m²] = a * Besoins [kWh/m²] + b

a=	1,2650		
b=	0,4673	**r =**	0,999

Corrélations : Besoins = f (Consommation)

Besoins [kWh/m²] = a * Consom_primaire [thermie/m²] + b

a=	0,7900		
b=	-0,3299	**r =**	0,999

Refroidissement

Corrélations : Consommation = f (Besoins)

Consom_primaire [thermie/m²] = a * Besoins [kWh/m²] + b

a=	0,8639		
b=	-1,4732	**r =**	0,996

Corrélations : Besoins = f (Consommation)

Besoins [kWh/m²] = a * Consom_primaire [thermie/m²] + b

a=	1,1528		
b=	1,9703	**r =**	0,996

RÉCAPITULATION DES CORRÉLATIONS BESOINS/CONSOMMATIONS

Site de référence : TOZEUR

Chauffage et Refroidissement

Corrélations : Consommation = f (Besoins)

Consom_primaire [thermie/m²] = a * Besoins [kWh/m²] + b

a=	0,9987		
b=	-5,3038	**r =**	0,996

Corrélations : Besoins = f (Consommation)

Besoins [kWh/m²] = a * Consom_primaire [thermie/m²] + b

a=	0,9975		
b=	2,7722	**r =**	0,996

Chauffage

Corrélations : Consommation = f (Besoins)

Consom_primaire [thermie/m²] = a * Besoins [kWh/m²] + b

a=	1,2811		
b=	1,1248	**r =**	0,998

Corrélations : Besoins = f (Consommation)

Besoins [kWh/m²] = a * Consom_primaire [thermie/m²] + b

a=	0,7791		
b=	-0,7946	**r =**	0,998

Refroidissement

Corrélations : Consommation = f (Besoins)

Consom_primaire [thermie/m²] = a * Besoins [kWh/m²] + b

a=	0,8226		
b=	-3,2854	**r =**	0,998

Corrélations : Besoins = f (Consommation)

Besoins [kWh/m²] = a * Consom_primaire [thermie/m²] + b

a=	1,2130		
b=	4,1702	**r =**	0,998

ANNEXE 3

Variation des besoins de chauffage d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du niveau d'isolation thermique des parois opaques et du taux des baies vitrées [vitrage type SVC : simple vitrage clair] pour deux orientations différentes
Site de référence : JENDOUBA

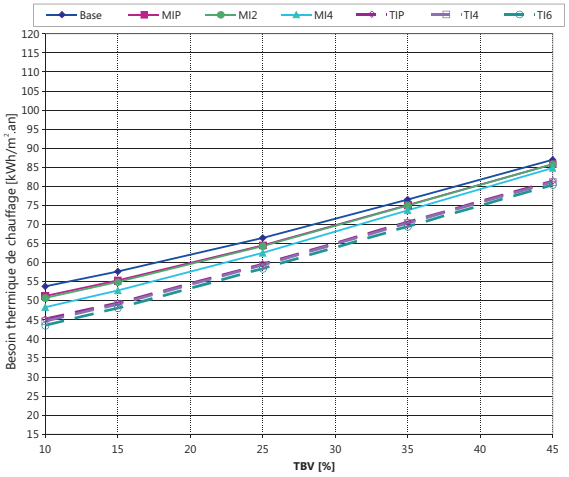


Fig. (1) :
Axe principal du bâtiment orienté NORD

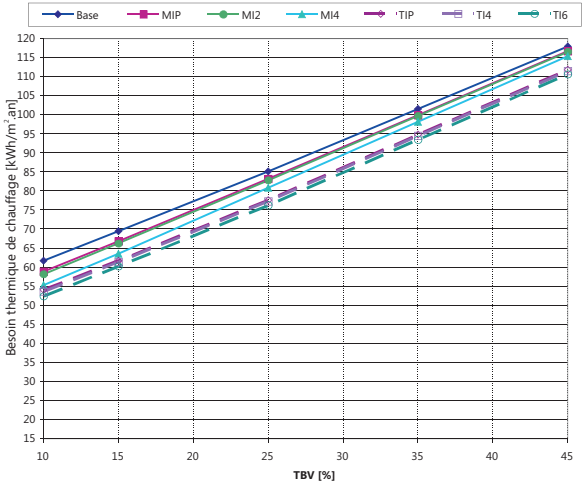


Fig. (2) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

Base : Configuration de base ; Murs ext. en double cloison de 35cm (DC35) & SVC : Simple Vit rage Clair/ Toiture dalle à hourdis 16+5 & frm de pente

MIP : Base+ 4cm béton de polystyrène ds vide d'air DC35
MI2 : Base+ 2cm plaque polystyrène ds vide d'air DC35
MI4 : Base+ 4cm plaque polystyrène ds vide d'air DC35

TIP : Base+ 10cm béton de polystyrène frm de pente
TI4 : Base+ 4 cm plaque polystyrène
TI6 : Base+ 6 cm plaque p olystyrène

Variation des besoins de refroidissement d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du niveau d'isolation thermique des parois opaques et du taux des baies vitrées [vitrage type SVC : simple vitrage clair] pour deux orientations différentes
Site de réfrence : JENDOUBA

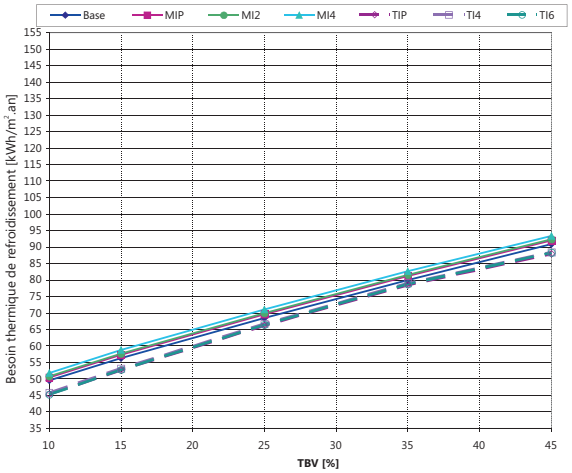


Fig. (3) :
Axe principal du bâtiment orienté NORD

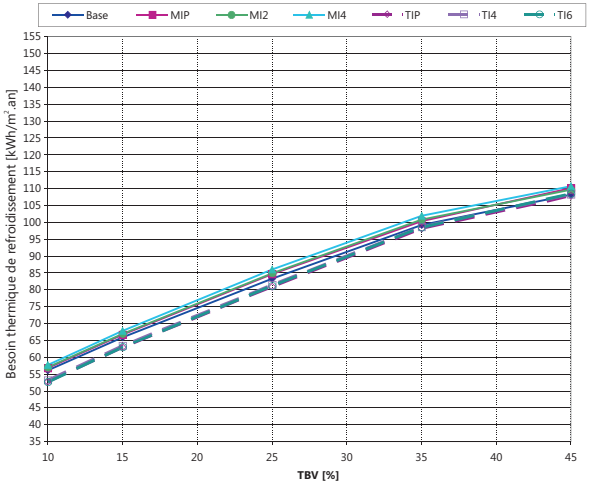


Fig. (4) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

Base : Configuration de base ; Murs ext. en double cloison de 35cm (DC35) & SVC : Simple Vit rage Clair/ Toiture dalle à hourdis 16+5 & frm de pente

MIP : Base+ 4cm béton de polystyrène ds vide d'air DC35
MI2 : Base+ 2cm plaque polystyrène ds vide d'air DC35
MI4 : Base+ 4cm plaque polystyrène ds vide d'air DC35

TIP : Base+ 10cm béton de polystyrène frm de pente
TI4 : Base+ 4 cm plaque polystyrène
TI6 : Base+ 6 cm plaque p olystyrène

ANNEXE 3

Variation des besoins de chauffage et de refroidissement d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du niveau d'isolation thermique des parois opaques et du taux des baies vitrées [vitrage type SVC : simple vitrage clair] pour deux orientations différentes
Site de référence : JENDOUBA

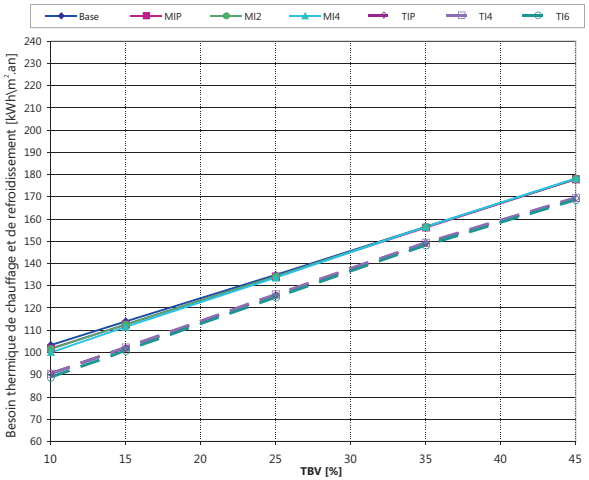


Fig. (5) :
Axe principal du bâtiment orienté NORD

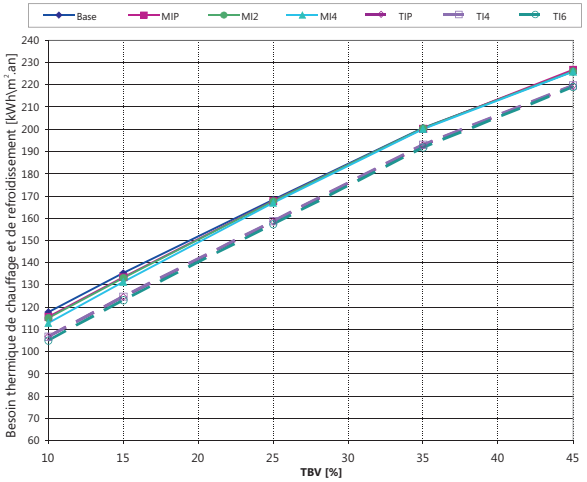


Fig. (6) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

Base : Configuration de base ; Murs ext. en double cloison de 35cm (DC35) & SVC : Simple Vit rage Clair/ Toiture dalle à hourdis 16+5 & frm de pente

MIP : Base+ 4cm béton de polystyrène ds vide d'air DC35
MI2 : Base+ 2cm plaque polystyrène ds vide d'air DC35
MI4 : Base+ 4cm plaque polystyrène ds vide d'air DC35

TIP : Base+ 10cm béton de polystyrène frm de pente
TI4 : Base+ 4 cm plaque polystyrène
Ti6 : Base+ 6 cm plaque p olystyrène

Variation des besoins de chauffage d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du niveau d'isolation thermique des parois opaques et du taux des baies vitrées [vitrage type SVBR : simple vitrage BRONZE] pour deux orientations différentes
Site de référence : JENDOUBA

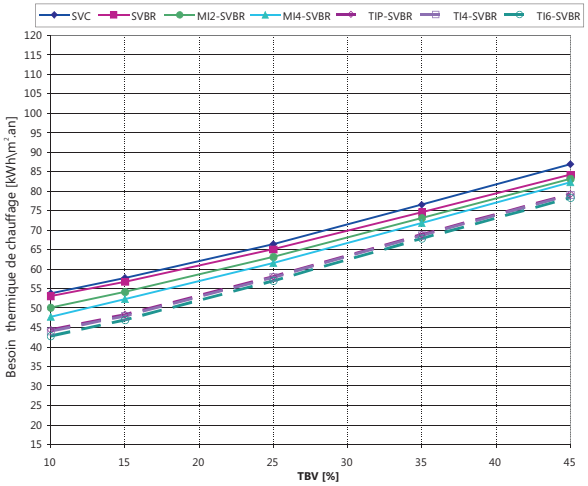


Fig. (7) :
Axe principal du bâtiment orienté NORD

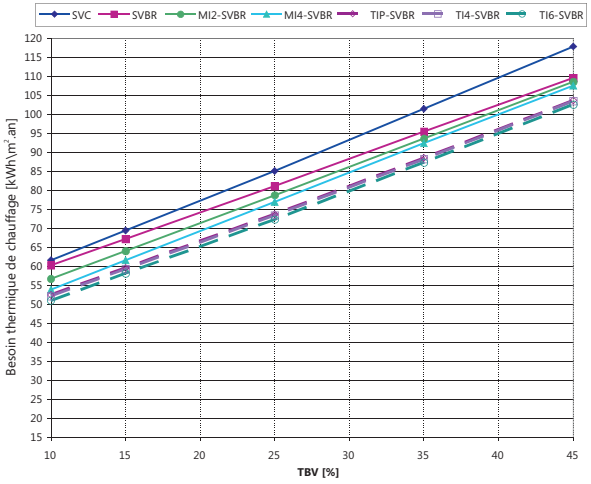


Fig. (8) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

SVC : Simple Vitrage Clair (configuration de base)
SVBR : Simple Vitrage Bronze (Idem configuration de base, mais avec SVBR au lieu de SVC)

MI2-SVBR : Combinaison de SVBR & MI2
MI4-SVBR : Combinaison de SVBR & Mi4

TIP-SVBR : Combinaison de SVBR & TIP
TI4-SVBR : Combinaison de SVBR & TI4
TI6-SVBR : Combinaison de SVBR & TI6

Variation des besoins de refroidissement d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du niveau d'isolation thermique des parois opaques et du taux des baies vitrées [vitrage type SVBR : simple vitrage BRONZE] pour deux orientations différentes
Site de référence : JENDOUBA

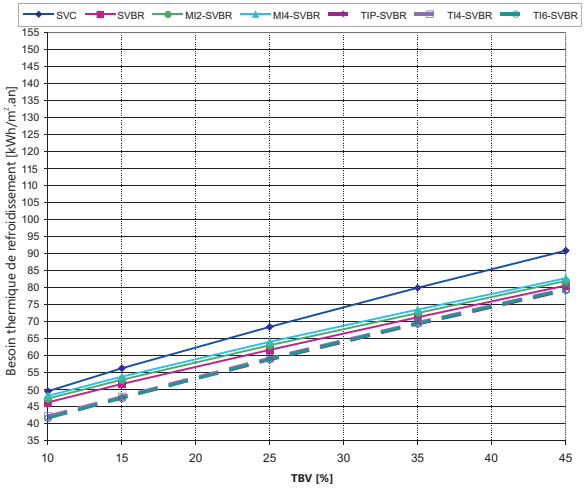


Fig. (9) :
Axe principal du bâtiment orienté NORD

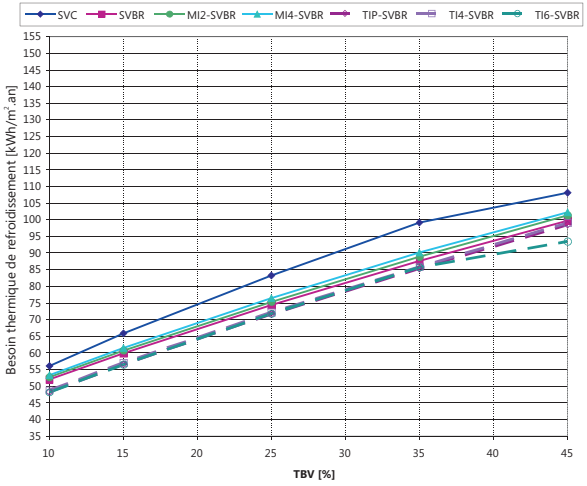


Fig. (10) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

SVC : Simple Vitrage Clair (configuration de base)
SVBR : Simple Vitrage Bronze (Idem configuration de base, mais avec SVBR au lieu de SVC)
MI2-SVBR : Combinaison de SVBR & MI2
MI4-SVBR : Combinaison de SVBR & Mi4
TIP-SVBR : Combinaison de SVBR & TIP
TI4-SVBR : Combinaison de SVBR & TI4
TI6-SVBR : Combinaison de SVBR & Ti6

Variation des besoins de chauffage et de refroidissement d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du niveau d'isolation thermique des parois opaques et du taux des baies vitrées [type SVBR : simple vitrage BRONZE] pour deux orientations différentes
Site de référence : JENDOUBA

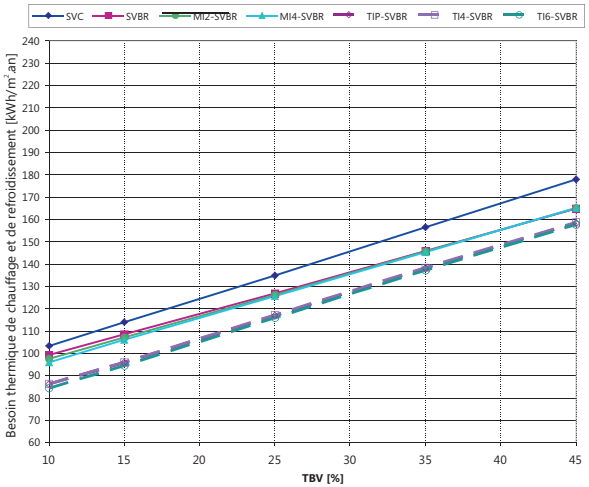


Fig. (11) :
Axe principal du bâtiment orienté NORD

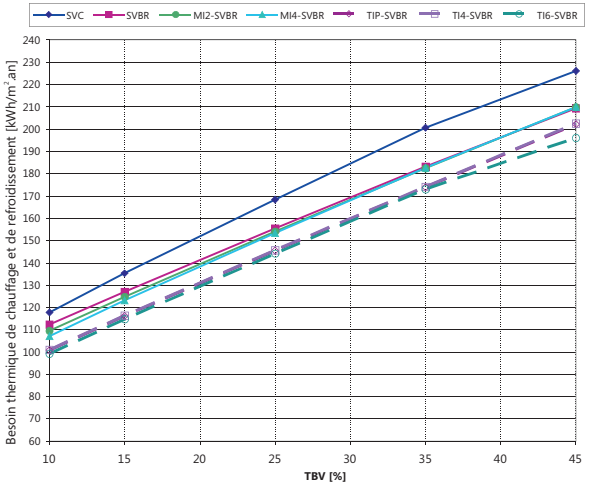


Fig. (12) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

SVC : Simple Vitrage Clair (configuration de base)
SVBR : Simple Vitrage Bronze (Idem configuration de base, mais avec SVBR au lieu de SVC)
MI2-SVBR : Combinaison de SVBR & MI2
MI4-SVBR : Combinaison de SVBR & Mi4
TIP-SVBR : Combinaison de SVBR & TIP
TI4-SVBR : Combinaison de SVBR & TI4
TI6-SVBR : Combinaison de SVBR & TI6

ANNEXE 3

Variation des besoins de chauffage d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du niveau d'isolation thermique des parois opaques et du taux des baies vitrées [type DVCLE : double vitrage clair à faible émissivité] pour deux orientations différentes
Site de référence : JENDOUBA

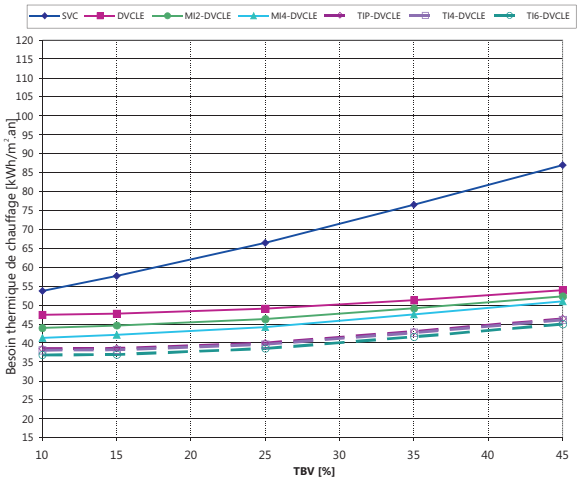


Fig. (13) :
Axe principal du bâtiment orienté NORD

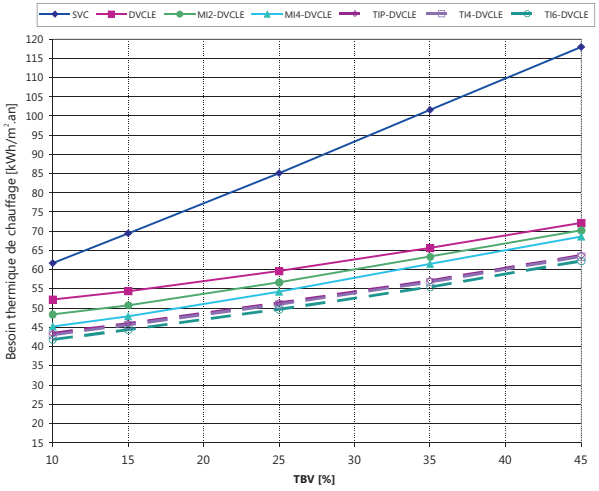


Fig. (14) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

SVC : Simple Vitrage Clair (configuration de base)
SVBR : Simple Vitrage Bronze (Idem configuration de base, mais avec SVBR au lieu de SVC)
MI2-SVBR : Combinaison de SVBR & MI2
MI4-SVBR : Combinaison de SVBR & Mi4
TIP-SVBR : Combinaison de SVBR & TIP
TI4-SVBR : Combinaison de SVBR & TI4
TI6-SVBR : Combinaison de SVBR & TI6

Variation des besoins de refroidissement d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du niveau d'isolation thermique des parois opaques et du taux des baies vitrées [type DVCLE : double vitrage clair à faible émissivité] pour deux orientations différentes
Site de référence : JENDOUBA

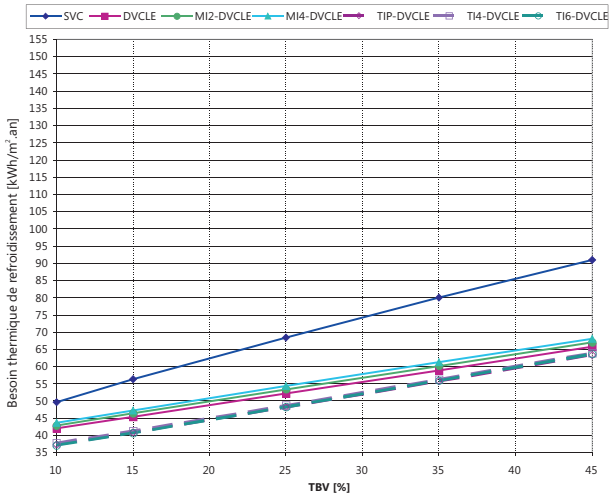


Fig. (15) :
Axe principal du bâtiment orienté NORD

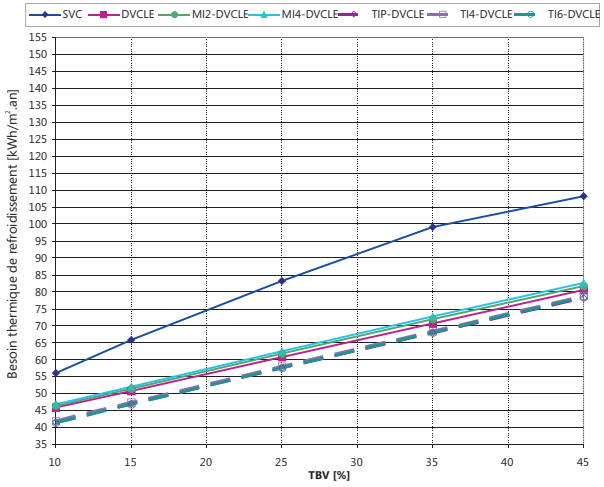


Fig. (16) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

SVC : Simple Vitrage Clair (configuration de base)
SVBR : Simple Vitrage Bronze (Idem configuration de base, mais avec SVBR au lieu de SVC)
MI2-SVBR : Combinaison de SVBR & MI2
MI4-SVBR : Combinaison de SVBR & Mi4
TIP-SVBR : Combinaison de SVBR & TIP
TI4-SVBR : Combinaison de SVBR & TI4
TI6-SVBR : Combinaison de SVBR & TI6

Variation des besoins de chauffage et de refroidissement d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du niveau d'isolation thermique des parois opaques etdu taux des baies vitrées [type DVCLE : double vitrage clair à faible émissivité] pour deux orientations différentes
Site de référence : JENDOUBA

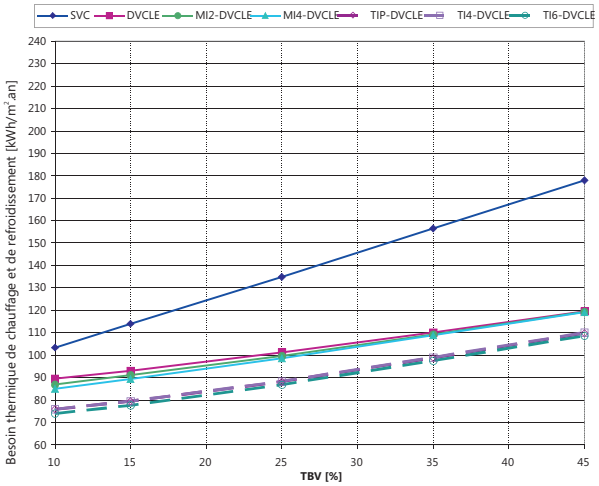


Fig. (17) :
Axe principal du bâtiment orienté NORD

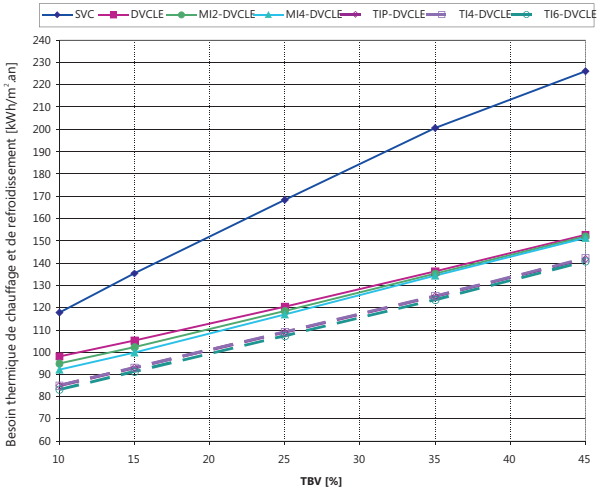


Fig. (18) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

SVC : Simple Vitrage Clair (configuration de base)
SVBR : Simple Vitrage Bronze (Idem configuration de base, mais avec SVBR au lieude SVC)
MI2-SVBR : Combinaison de SVBR & MI2
MI4-SVBR : Combinaison de SVBR & Mi4
TIP-SVBR : Combinaison de SVBR & TIP
TI4-SVBR : Combinaison de SVBR & TI4
TI6-SVBR : Combinaison de SVBR & Ti6

Variation des besoins de chauffage d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du niveau d'isolation thermique des parois opaques et du taux des baies vitrées [type DVCLE : double vitrage clair à faible émissivité] pour deux orientations différentes
Site de référence : JENDOUBA

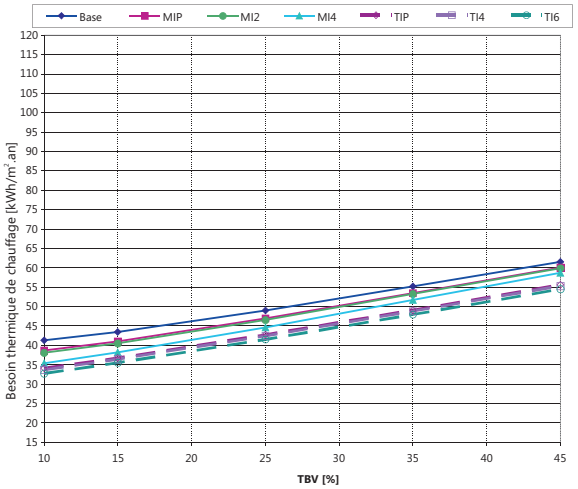


Fig. (19) :
Axe principal du bâtiment orienté NORD

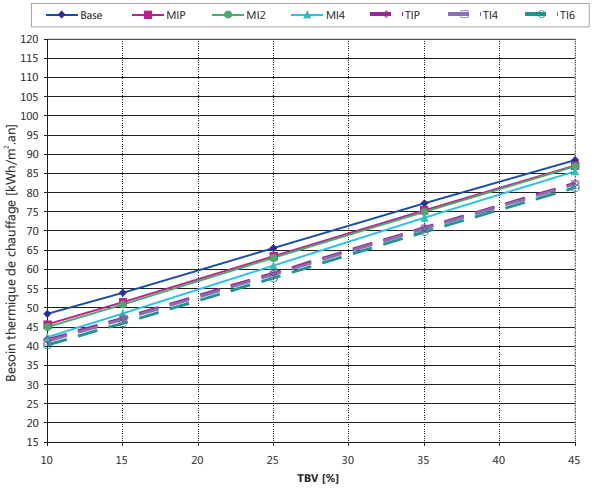


Fig. (20) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

Base : Configuration de base ; Murs ext. en double cloison de 35cm (DC35) & SVC : Simple Vitr age Clair/ Toiture dalle à hourdis 16+5 & frm de pente
MIP : Base+ 4cm béton de polystyrène ds vide d'air DC35
MI2 : Base+ 2cm plaque polystyrène ds vide d'air DC35
MI4 : Base+ 4cm plaque polystyrène ds vide d'air DC35
TIP : Base+ 10cm béton de polystyrène frm de pente
TI4 : Base+ 4 cm plaque polystyrène
Ti6 : Base+ 6 cm plaque p olystyrène

Variation des besoins de chauffage d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du niveau d'isolation thermique des parois opaques et du taux des baies vitrées [vitrage type SVBR : simple vitrage BRONZE] pour deux orientations différentes Site de référence : TOZEUR

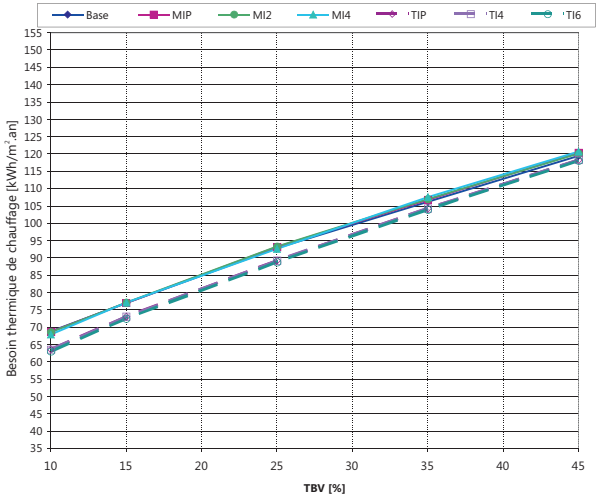


Fig. (21) :
Axe principal du bâtiment orienté NORD

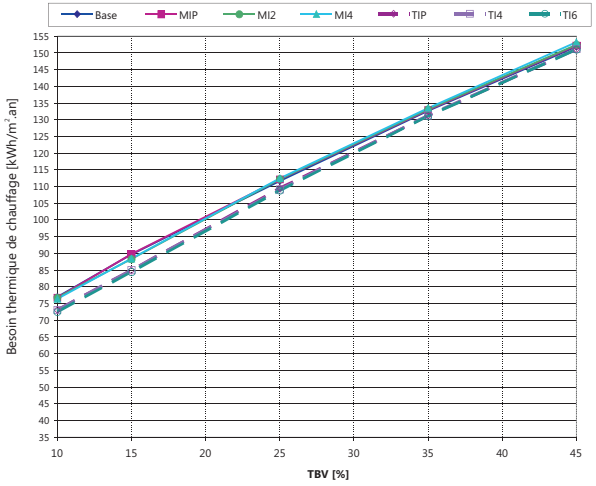


Fig. (22) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

Base : Configuration de base ; Murs ext. en double cloison de 35cm (DC35) & SVC : Simple Vit rage Clair/ Toiture dalle à hourdis 16+5 & frm de pente

MIP : Base+ 4cm béton de polystyrène ds vide d'air DC35
MI2 : Base+ 2cm plaque polystyrène ds vide d'air DC35
MI4 : Base+ 4cm plaque polystyrène ds vide d'air DC35

TIP : Base+ 10cm béton de polystyrène frm de pente
TI4 : Base+ 4 cm plaque polystyrène
TI6 : Base+ 6 cm plaque p olystyrène

Variation des besoins de refroidissement d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du niveau d'isolation thermique des parois opaques et du taux des baies vitrées [vitrage type SVBR : simple vitrage BRONZE] pour deux orientations différentes Site de référence : TOZEUR

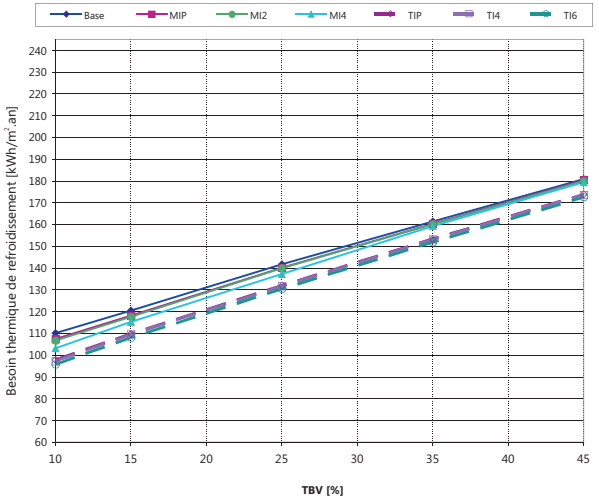


Fig. (23) :
Axe principal du bâtiment orienté NORD

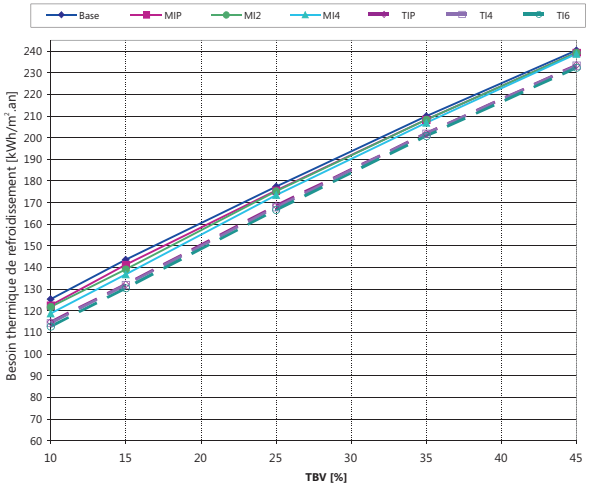


Fig. (24) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

Base : Configuration de base ; Murs ext. en double cloison de 35cm (DC35) & SVC : Simple Vit rage Clair/ Toiture dalle à hourdis 16+5 & frm de pente

MIP : Base+ 4cm béton de polystyrène ds vide d'air DC35
MI2 : Base+ 2cm plaque polystyrène ds vide d'air DC35
MI4 : Base+ 4cm plaque polystyrène ds vide d'air DC35

TIP : Base+ 10cm béton de polystyrène frm de pente
TI4 : Base+ 4 cm plaque polystyrène
TI6 : Base+ 6 cm plaque p olystyrène

Variation des besoins de refroidissement d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du niveau d'isolation thermique des parois opaques et du taux des baies vitrées [vitrage type SVC : simple vitrage clair] pour deux orientations différentes
Site de référence : TOZEUR

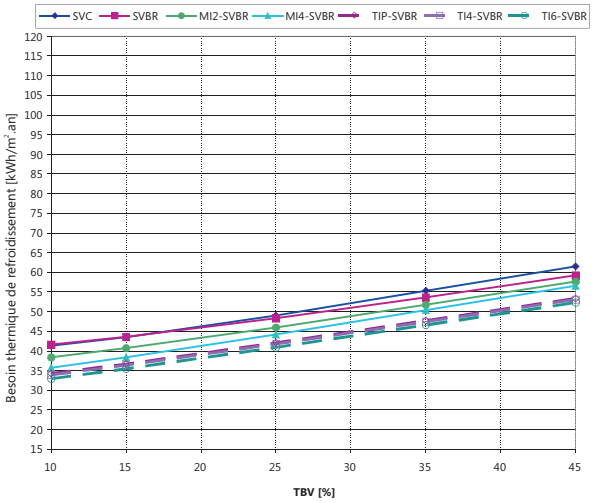


Fig. (25) :
Axe principal du bâtiment orienté NORD

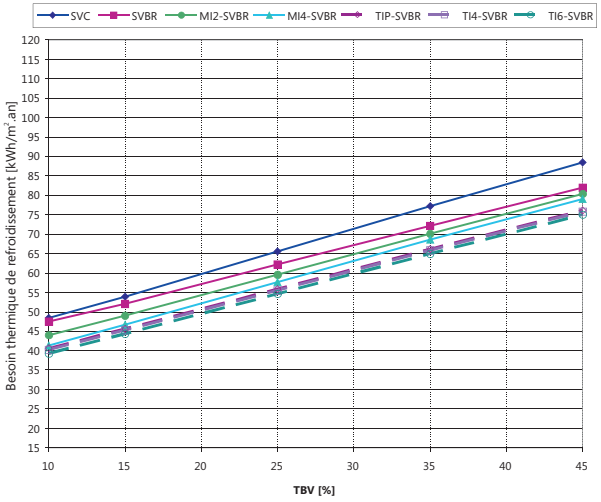


Fig. (26) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

SVC : Simple Vitrage Clair (configuration de base)
SVBR : Simple Vitrage Bronze (Idem configuration de base, mais avec SVBR au lieu de SVC)
MI2-SVBR : Combinaison de SVBR & MI2
MI4-SVBR : Combinaison de SVBR & Mi4
TIP-SVBR : Combinaison de SVBR & TIP
TI4-SVBR : Combinaison de SVBR & TI4
TI6-SVBR : Combinaison de SVBR & TI6

Variation des besoins de chauffage et de refroidissement d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du niveau d'isolation thermique des parois opaques et du taux des baies vitrées [vitrage type SVC : simple vitrage clair] pour deux orientations différentes
Site de référence : TOZEUR

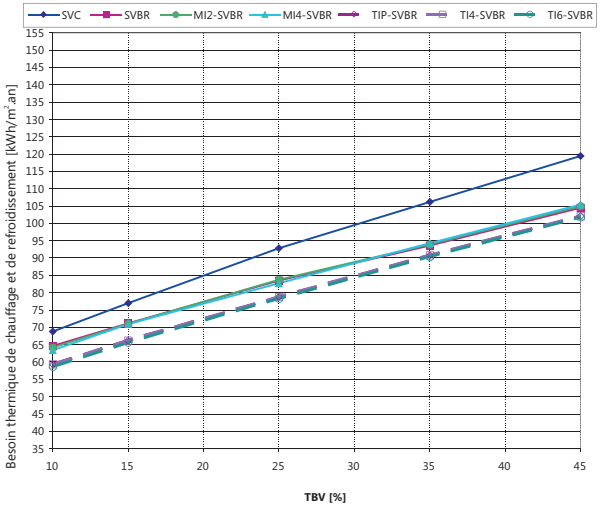


Fig. (27) :
Axe principal du bâtiment orienté NORD

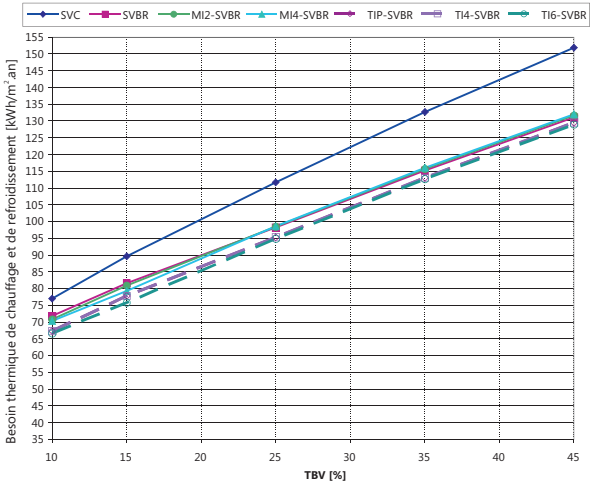


Fig. (28) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

SVC : Simple Vitrage Clair (configuration de base)
SVBR : Simple Vitrage Bronze (Idem configuration de base, mais avec SVBR au lieu de SVC)
MI2-SVBR : Combinaison de SVBR & MI2
MI4-SVBR : Combinaison de SVBR & Mi4
TIP-SVBR : Combinaison de SVBR & TIP
TI4-SVBR : Combinaison de SVBR & TI4
TI6-SVBR : Combinaison de SVBR & TI6

Variation des besoins de chauffage et de refroidissement d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du niveau d'isolation thermique des parois opaques et du taux des baies vitrées [type SVBR : simple vitrage BRONZE] pour deux orientations différentes
Site de référence : TOZEUR

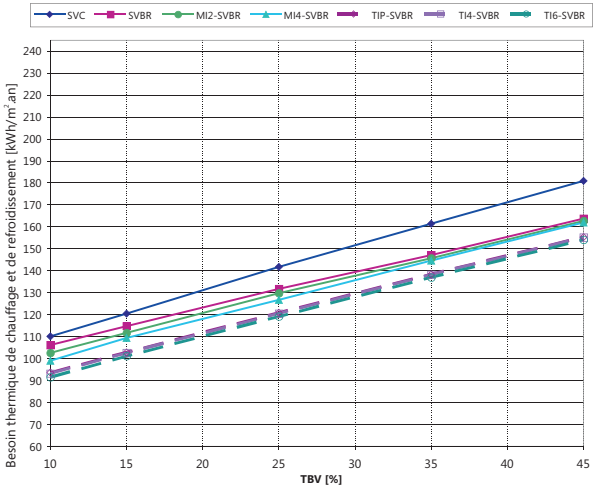


Fig. (29) :
Axe principal du bâtiment orienté NORD

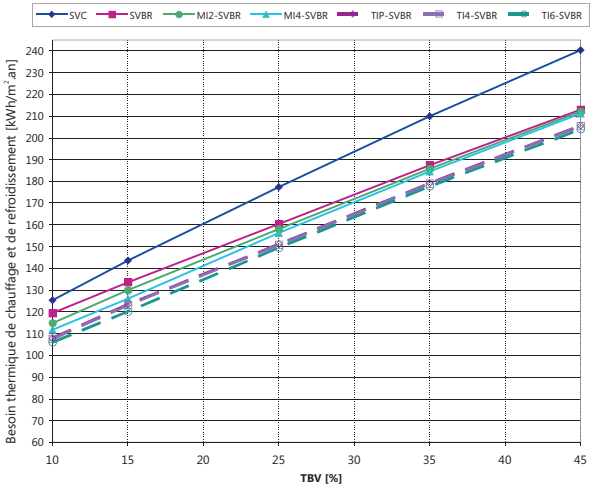


Fig. (30) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

SVC : Simple Vitrage Clair (configuration de base)
SVBR : Simple Vitrage Bronze (Idem configuration de base, mais avec SVBR au lieu de SVC)
MI2-SVBR : Combinaison de SVBR & MI2
MI4-SVBR : Combinaison de SVBR & Mi4
TIP-SVBR : Combinaison de SVBR & TIP
TI4-SVBR : Combinaison de SVBR & TI4
TI6-SVBR : Combinaison de SVBR & TI6

Variation des besoins de chauffage d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du niveau d'isolation thermique des parois opaques et du taux des baies vitrées [vitrage type SVBR : simple vitrage BRONZE] pour deux orientations différentes
Site de référence : TOZEUR

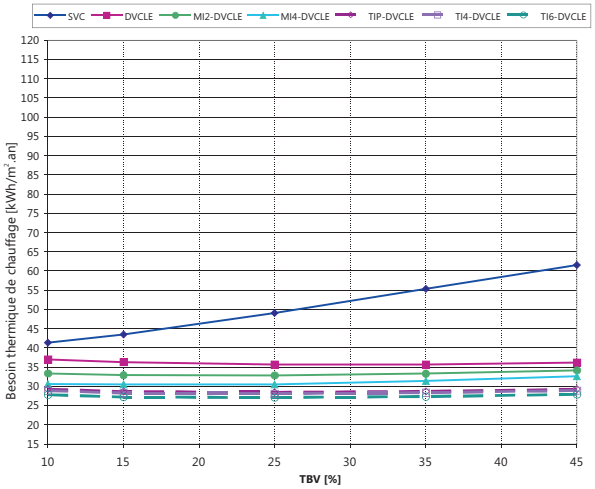


Fig. (31) :
Axe principal du bâtiment orienté NORD

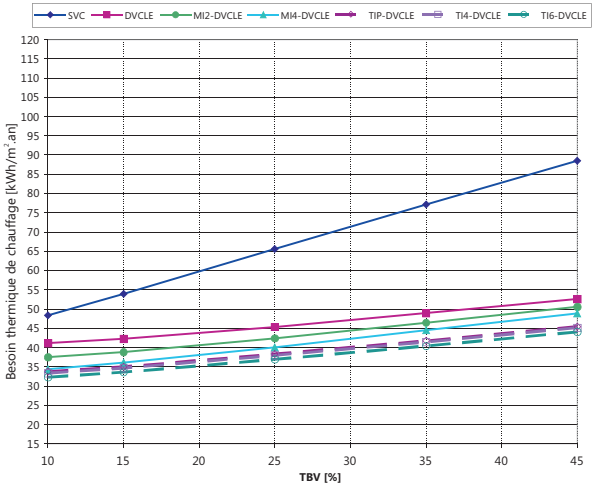


Fig. (32) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

SVC : Simple Vitrage Clair (configuration de base)
SVBR : Simple Vitrage Bronze (Idem configuration de base, mais avec SVBR au lieu de SVC)
MI2-SVBR : Combinaison de SVBR & MI2
MI4-SVBR : Combinaison de SVBR & Mi4
TIP-SVBR : Combinaison de SVBR & TIP
TI4-SVBR : Combinaison de SVBR & TI4
TI6-SVBR : Combinaison de SVBR & TI6

Variation des besoins de refroidissement d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du niveau d'isolation thermique des parois opaques et du taux des baies vitrées [type DVCLE : double vitrage clair à faible émissivité] pour deux orientations différentes
Site de référence : TOZEUR

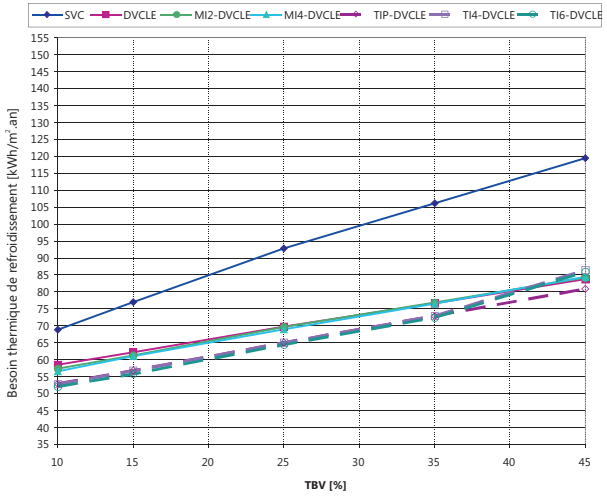


Fig. (33) :
Axe principal du bâtiment orienté NORD

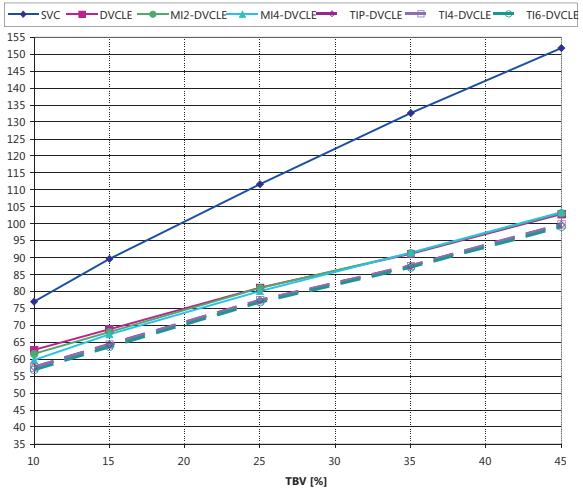


Fig. (34) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

SVC : Simple Vitrage Clair (configuration de base)
SVBR : Simple Vitrage Bronze (Idem configuration de base, mais avec SVBR au lieu de SVC)
MI2-SVBR : Combinaison de SVBR & MI2
MI4-SVBR : Combinaison de SVBR & Mi4
TIP-SVBR : Combinaison de SVBR & TIP
TI4-SVBR : Combinaison de SVBR & TI4
TI6-SVBR : Combinaison de SVBR & TI6

Variation des besoins de chauffage & refroidissement d'un bâtiment à usage de bureau de forme rectangulaire, en fonction du niveau d'isolation thermique des parois opaques et du taux des baies vitrées [type DVCLE : double vitrage clair à faible émissivité] pour deux orientations différentes
Site de référence : TOZEUR

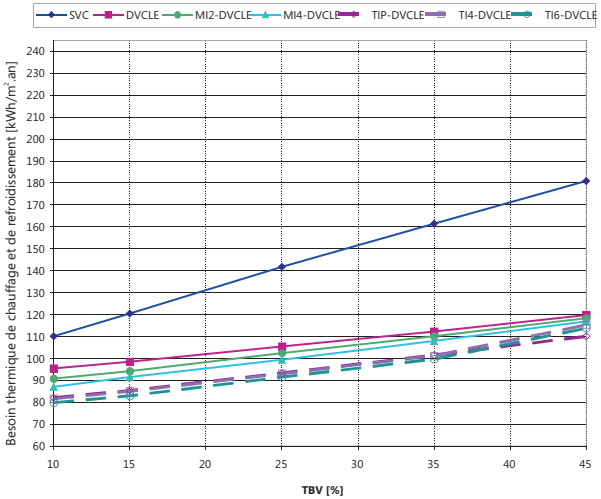


Fig. (35) :
Axe principal du bâtiment orienté NORD

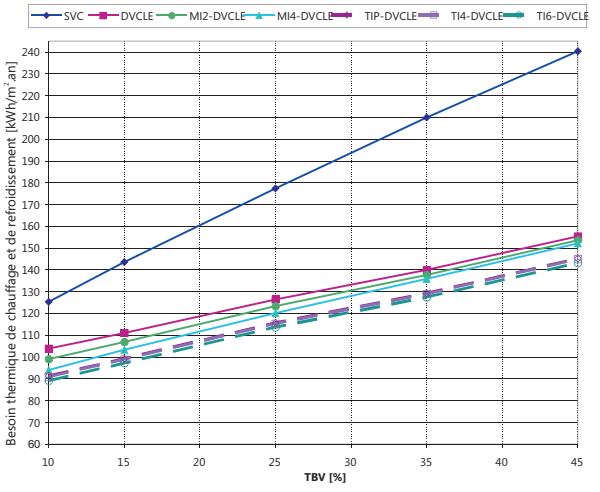


Fig. (36) :
Axe principal du bâtiment orienté EST

SVC : Simple Vitrage Clair (configuration de base)
SVBR : Simple Vitrage Bronze (Idem configuration de base, mais avec SVBR au lieu de SVC)
MI2-SVBR : Combinaison de SVBR & MI2
MI4-SVBR : Combinaison de SVBR & Mi4
TIP-SVBR : Combinaison de SVBR & TIP
TI4-SVBR : Combinaison de SVBR & TI4
TI6-SVBR : Combinaison de SVBR & TI6

ANME
3, Rue 8000, Monplaisir - 1073 Tunis (BP 213)
Tél. : (216)71 787 700 - Fax : (216) 71 784 624
E-mail : boc@anme.nat.tn
Sites web : www.anme.nat.tn / www.enerbat.nat.tn

Conception & Réalisation :
agora GRAPHIC
+216 71 889 376